

Sumari

SUMARI	1
A. APLICACIÓ TÈCNICA ANSYS.	3
A.1. Introducció a l'Anàlisi computacional.....	3
A.2. Concepte de nodes, elements i malla.	3
A.2.1. Tipus element 1: SOLID95	3
A.2.2. Tipus element 2: SHELL63.....	5
A.2.3. Tipus element 3: FLUID30.....	7
A.3. Fluids acústics (FLUID30)	9
A.4. Anàlisi modal	12
A.4.1. Hipòtesis i restriccions	12
A.4.2. Descripció de l'anàlisi modal.....	12
A.4.3. Descripció de l'Anàlisi modal amb aigua.....	13
B. PROCEDIMENT DE L'ANÀLISI MODAL EN AIGUA.	15
B.1. Requeriments previs.....	15
B.2. Definició de dues zones de fluid(F-F, F-I).	15
B.3. Aplicació de la condició FSI.....	17
B.4. Restricció de graus de llibertat de l'estructura.....	18
B.5. Restricció de graus de llibertat del fluid.....	19
B.6. Solve	21
B.7. Anàlisi de resultats.....	22
C. PROBLEMA DE VERIFICACIÓ.	25
C.1. Descripció del problema.	25
C.2. Hipòtesis i descripció de models.	25
C.3. Model 1. Anàlisi freqüencial.....	26
C.3.1. Disseny de la geometria.	26
C.3.2. Aplicació de càrregues.....	27
C.3.3. Resultats.	27
C.4. Model 2. Anàlisi modal.....	31
C.4.1. Disseny de la geometria.	31
C.4.2. Aplicació de càrregues.....	31
C.4.3. Resultats.	32
C.5. Càlcul de la freqüència natural de l'estructura.	34
C.5.1. Model 1. Anàlisi d'escombrat de freqüències.	34
C.5.2. Mètode 2. Anàlisi modal.....	36
C.5.3. Comparació de resultats.	37



D. DISSENY DEL PERFIL AERODINÀMIC.	38
E. RESULTATS GRÀFICS.	41
E.1. Resultats gràfics de la reixa.....	41
F. AVALUACIÓ ECONÒMICA.	72
F.1. Horitzó temporal i valors residuals.....	72
F.2. Fons invertits.....	72
F.2.1. Despeses de personal.....	72
F.2.2. Despeses de serveis.....	72
F.2.3. Despeses equips informàtics.....	73
F.2.4. Inversió total.....	74
F.3. Fons generats.....	74
F.3.1. Ingressos	74
F.3.2. Despeses	74
F.3.3. BAI-BAII.....	75
F.3.4. BDI i total fons generat.	75
F.3.5. Flux de caixa.....	75
F.4. VAN/PB/TIR.....	75
G. IMPACTE AMBIENTAL.	78



A. Aplicació tècnica ANSYS.

A.1. Introducció a l'Anàlisi computacional.

La transformació d'un sistema d'enginyeria (amb infinites incògnites) a un model d'elements finits requereix un coneixement profund del MEF.

El terme element finit resumeix el concepte bàsic del mètode: la transformació d'un sistema físic, amb un nombre infinit d'incògnites, a un que tingui un nombre finit d'incògnites relacionades entre si per elements d'unes mides finites.

L'anàlisi computacional utilitza la teoria dels elements finits per tal de resoldre sistemes d'equacions que no es podrien resoldre simplement.

A.2. Concepte de nodes, elements i malla.

Seguint la filosofia del MEF tota estructura s'ha de mallar, és a dir, transformar en elements finits. El conjunt de tots els elements finits s'anomena malla i cada element està definit per un cert nombre de punts denominats com a nodes. A la vegada, cada element té uns punts d'integració ubicats entre els nodes que defineixen aquest element. Els nodes emmagatzemen totes les propietats i solucions de l'estructura o fluid, i els punts d'integració serveixen per discretitzar les funcions contínues dintre de cada element.

Un element estructural pot ser bidimensional o tridimensional en funció de si es malla un sòlid o una superfície respectivament.

Per les simulacions d'aquest treball s'han utilitzat tres tipus d'elements: dos basats en dissenys tridimensionals (SOLID95 i FLUID30) i un basat en un disseny bidimensional (SHELL63).

A.2.1. Tipus element 1: SOLID95

Element tridimensional definit per 20 nodes cadascun dels quals té 3 graus de llibertat (v_x, v_y, v_z), desplaçament en els tres eixos. Tot i estar definit amb 20 nodes podem adoptar diferents configuracions espacials: prisma rectangular, prisma triangular, tetràedre i piràmide quadrangular.



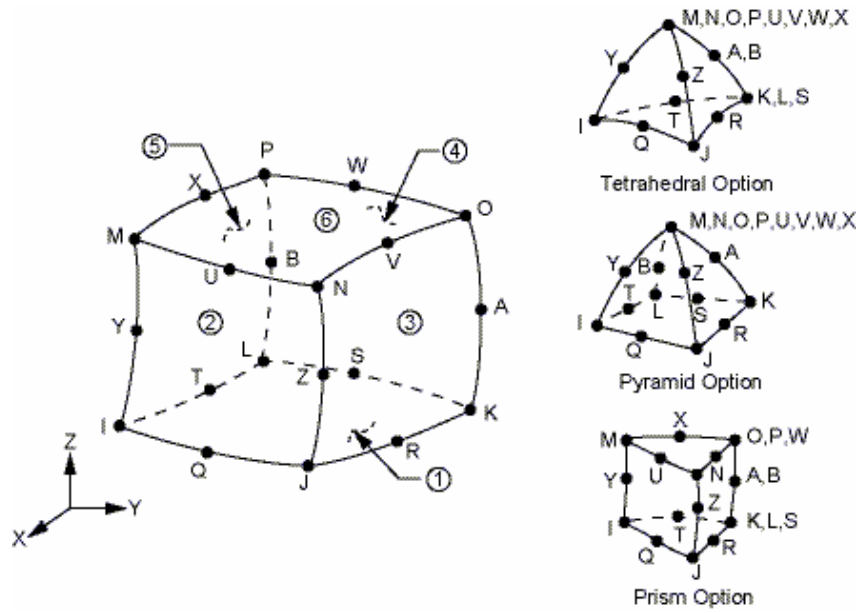


Figura A.1 Tipus d'elements possibles SOLID95

Tot i que el tipus d'element sigui el mateix en tots 4 casos, les equacions que defineixen la forma de l'element i els punts d'integració són diferents. Concretament en les simulacions s'han utilitzat tetràedres que requereixen menys punts per definir el tipus. Llavors dels 20 nodes que defineixen l'element només 10 seran diferents.

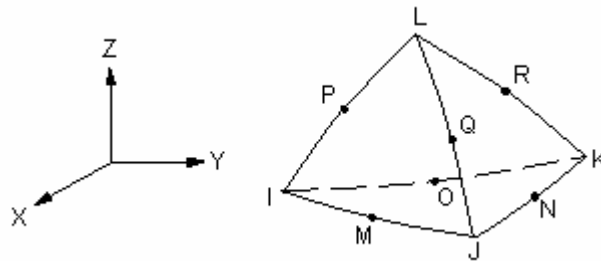


Figura A.2 Tipus d'element tetraèdric SOLID95

Les equacions que defineixen la forma de l'element són les següents:

$$u = u_I(2L_1 - 1)L_1 + u_J(2L_2 - 1)L_2 + u_J(2L_3 - 1)L_3 + u_L(2L_4 - 1)L_4 + 4u_M L_1 L_2 + u_N L_2 L_3 + u_O L_1 L_3 + u_P L_1 L_4 + u_Q L_2 L_4 + u_R L_3 L_4 \quad (\text{Eq. A.1})$$

$$v = v_I(2L_1 - 1)L_1 + v_J(2L_2 - 1)L_2 + v_J(2L_3 - 1)L_3 + v_L(2L_4 - 1)L_4 + 4v_M L_1 L_2 + v_N L_2 L_3 + v_O L_1 L_3 + v_P L_1 L_4 + v_Q L_2 L_4 + v_R L_3 L_4 \quad (\text{Eq. A.2})$$

$$w = w_I(2L_1 - 1)L_1 + w_J(2L_2 - 1)L_2 + w_J(2L_3 - 1)L_3 + w_L(2L_4 - 1)L_4 + 4w_M L_1 L_2 + w_N L_2 L_3 + w_O L_1 L_3 + w_P L_1 L_4 + w_Q L_2 L_4 + w_R L_3 L_4 \quad (\text{Eq. A.3})$$



5 Sent u, v, w els desplaçaments corresponents a cada direcció (x, y, z) i L_1, L_2, L_3, L_4 les distàncies entre els vèrtexs i la cara oposada.

Per altra banda a l'hora d'integrar es poden escollir diferents opcions en els punts d'integració (poden ser 1, 4, 5 o 11). El programa escull per defecte 4 punts d'integració ubicats molt propers als vèrtexs que formen el tetraèdre.

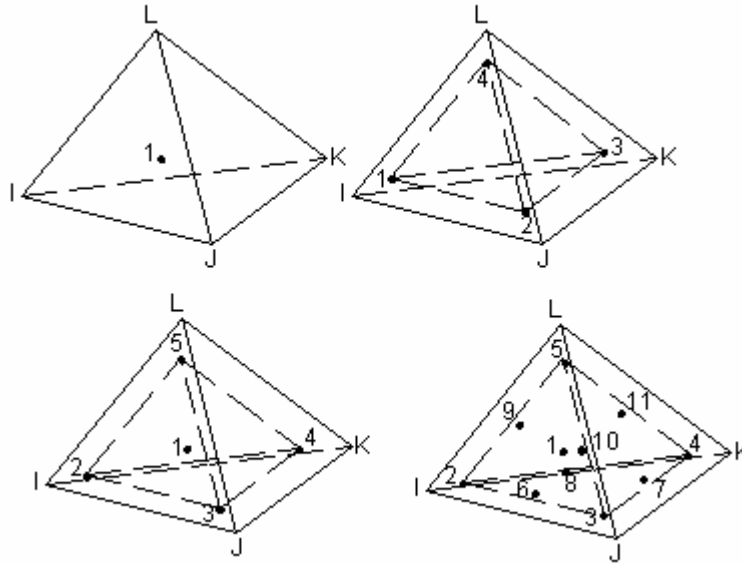


Figura A.3 Punts d'integració per a un tetraedre

A.2.2. Tipus element 2: SHELL63.

Element tridimensional definit per 4 nodes cadascun dels quals té 3 graus de llibertat (v_x, v_y, v_z), els desplaçament. Tot i estar definit amb 4 nodes podem adoptar diferents configuracions espacials: triangle i rectangle, però sempre definit el gruix desitjat, ja que no s'ha d'oblidar que és un element tridimensional.



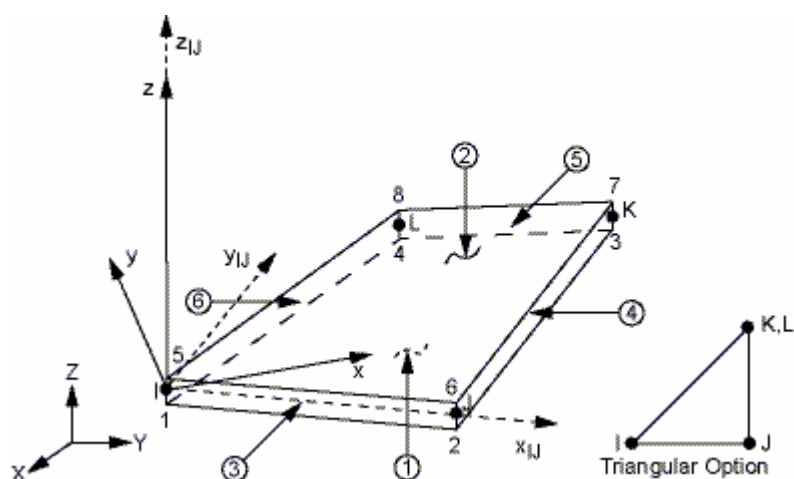


Figura A.4 Tipus d'element triangle SHELL63

Tot i que el tipus d'element sigui el mateix en tots 4 casos, les equacions que defineixen la forma de l'element i els punts d'integració són diferents. Concretament en les simulacions s'han utilitzat triangles que requereixen menys nodes per definir el tipus d'element. Llavors dels 4 nodes que defineixen l'element només 3 seran diferents.

Les equacions que defineixen la forma de l'element són les següents:

$$u = u_I L_1 + u_J L_2 + u_K L_3 \quad (\text{Eq. A.4})$$

$$v = v_I L_1 + v_J L_2 + v_K L_3 \quad (\text{Eq. A.5})$$

$$w = w_I L_1 + w_J L_2 + w_K L_3 \quad (\text{Eq. A.6})$$

Sent u, v, w els desplaçaments corresponents a cada direcció (x, y, z) i L_1, L_2, L_3 les distàncies entre els vèrtexs i la cara oposada.

Per altra banda a l'hora d'integrar poden haver 1, 3 o 6 punts d'integració

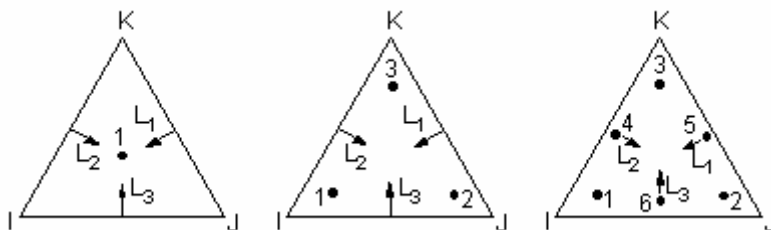


Figura A.5 Punts d'integració per a un triangle

En les simulacions d'aquest projecte el tipus SHELL63 utilitza només 1 punt d'integració ubicat al centre de cada triangle.



A.2.3. Tipus element 3: FLUID30.

Element tridimensional definit per 8 nodes cadascun dels quals té 4 graus de llibertat (v_x, v_y, v_z), els desplaçaments en els 3 eixos i la pressió. Tot i estar definit amb 8 nodes podem adoptar diferents configuracions espais: prisma rectangular, prisma triangular i tetràedre.

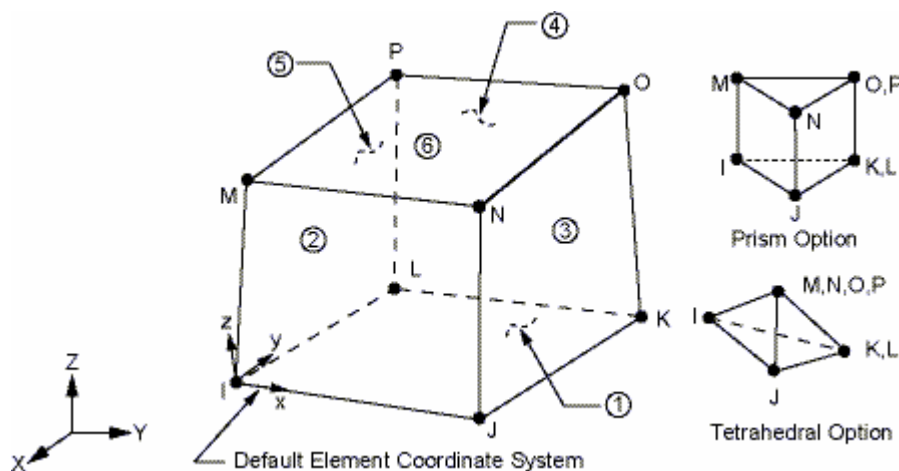


Figura A.6 Tipus d'elements possibles FLUID30

Tot i que el tipus d'element sigui el mateix en tots 4 casos, les equacions que defineixen la forma de l'element i els punts d'integració són diferents. Concretament en les simulacions d'aquest projecte s'han utilitzat tetràedres que requereixen menys nodes per definir el tipus d'element. Llavors dels 8 nodes que defineixen l'element només 4 seran diferents.

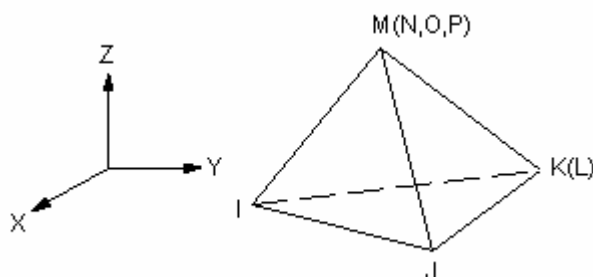


Figura A.7 Tipus d'element tetràedric

Les equacions que defineixen els graus de llibertat de l'element són les següents:

$$P = \frac{1}{8} (P_I(1-s)(1-t)(1-r) + P_J(1+s)(1-t)(1-r) + P_K(1+s)(1+t)(1-r) + P_L(1-s)(1+t)(1-r) + P_M(1-s)(1-t)(1+r) + P_N(1+s)(1-t)(1+r) + P_O(1+s)(1+t)(1+r) + P_P(1-s)(1+t)(1+r)) \quad (\text{Eq. A.7})$$



$$u = \frac{1}{8} (u_I(1-s)(1-t)(1-r) + u_J(1+s)(1-t)(1-r) + u_K(1+s)(1+t)(1-r) + u_L(1-s)(1+t)(1-r) + u_M(1-s)(1-t)(1+r) + u_N(1+s)(1-t)(1+r) + u_O(1+s)(1+t)(1+r) + u_P(1-s)(1+t)(1+r)) \quad (\text{Eq. A.8})$$

$$v = \frac{1}{8} (v_I(1-s)(1-t)(1-r) + v_J(1+s)(1-t)(1-r) + v_K(1+s)(1+t)(1-r) + v_L(1-s)(1+t)(1-r) + v_M(1-s)(1-t)(1+r) + v_N(1+s)(1-t)(1+r) + v_O(1+s)(1+t)(1+r) + v_P(1-s)(1+t)(1+r)) \quad (\text{Eq. A.9})$$

$$w = \frac{1}{8} (w_I(1-s)(1-t)(1-r) + w_J(1+s)(1-t)(1-r) + w_K(1+s)(1+t)(1-r) + w_L(1-s)(1+t)(1-r) + w_M(1-s)(1-t)(1+r) + w_N(1+s)(1-t)(1+r) + w_O(1+s)(1+t)(1+r) + w_P(1-s)(1+t)(1+r)) \quad (\text{Eq. A.10})$$

Sent u, v, w els desplaçaments corresponents a cada direcció (x, y, z) i s, t, r les distàncies entre els vèrtexs i la cara oposada.

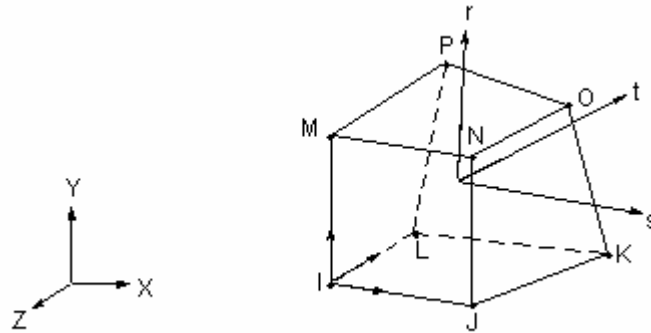


Figura A.8 Distàncies s, t i r

Per altra banda a l'hora d'integrar es poden escollir diferents opcions en els punts d'integració (poden ser 1, 4, 5 o 11). El programa escull per defecte 4 punts d'integració ubicats molt propers als vèrtexs que formen el tetràedre.



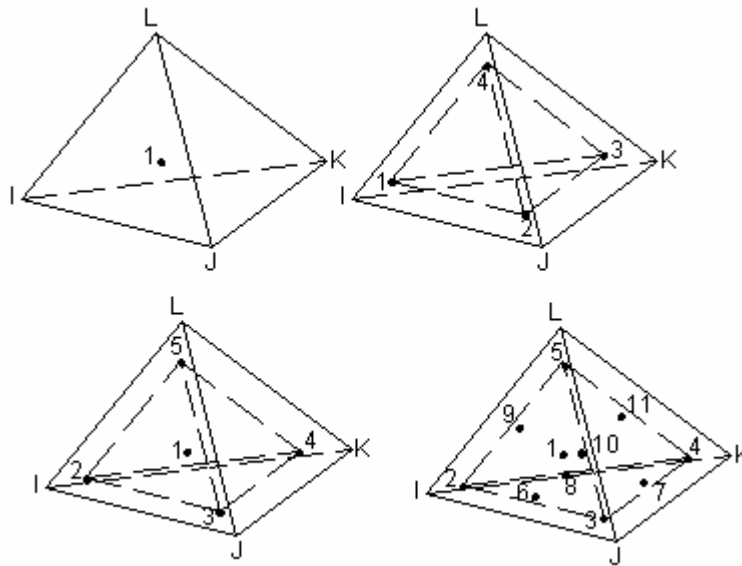


Figura A.9 Punts d'integració element tetraèdric

A.3. Fluids acústics (FLUID30)

En els problemes on existeix la interacció entre el fluid i l'estructura, el sistema no només ha d'aplicar les equacions per calcular les freqüències naturals, si no que també s'han de tenir en compte les equacions que regeixen la dinàmica de fluids.

Així doncs en les condicions on l'estructura estigui submergida en aigua caldran les equacions de Navier-Stokes i l'equació de la continuïtat del fluid. Cal dir però, que dites equacions es poden simplificar en una equació que defineixi l'ona acústica del fluid. Les hipòtesis per dur a terme aquesta simplificació són les següents:

- El fluid és compressible, és a dir que la densitat varia amb la pressió.
- El fluid és ideal.
- No hi ha un flux principal.
- La pressió i la densitat són constants a través de tot el fluid.

Llavors l'equació de l'ona acústica ve donada per l'expressió següent:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \nabla^2 P = 0 \quad (\text{Eq. A.11})$$



on c és la velocitat del so (m/s), P és la pressió acústica (Pa) i t el temps (s).

Llavors si prenem la P com una expressió harmònica obtenim:

$$P = \bar{P} e^{-j\omega t} \quad (\text{Eq. A.12})$$

on \bar{P} és l'amplitud de la pressió, i $\omega = 2\pi f$ (rad/s) i f (Hz) és la freqüència d'oscil·lació de la pressió.

Així doncs, si escrivim en forma de matrius l'equació de l'ona acústica obtenim:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \nabla^2 P = 0 \rightarrow \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \nabla \cdot \nabla P = 0 \rightarrow \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \{L\}^T \cdot (\{L\}P) = 0 \quad (\text{Eq. A.13})$$

on $\{L\}$ representa l'operador vectorial $\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$

Si aquesta expressió l'integrem respecte un volum de control s'obté l'expressió:

$$\int_{vol} \frac{1}{c^2} \delta P \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} dV + \int_{vol} (\{L\}^T \delta P) (\{L\}P) dV = \int_S \{n\}^T \delta P (\{L\}P) dS \quad (\text{Eq. A.14})$$

Sent vol el volum de control, δP el canvi de pressió virtual, S la superfície on s'aplica la derivada de la pressió perpendicular a aquesta i $\{n\}$ el vector director de la superfície.

En els problemes d'interacció fluid-estructura (el nostre cas), aquesta S és la superfície d'interacció en el sòlid i el fluid. Per les hipòtesis que s'han fet inicialment, l'equació del moment del fluid permet establir una relació entre el gradient de pressió normal de la pressió del fluid i l'acceleració normal de l'estructura en la superfície d'interacció entre aquests dos medis.

$$\{n\} \{ \nabla P \} = -\rho \{n\} \frac{\partial^2 \{u\}}{\partial t^2} \quad (\text{Eq. A.15})$$

on $\{u\}$ és el vector desplaçament de l'estructura en la interacció. Si s'expressa en forma de matrius obtenim:

$$\{n\}^T (\{L\}P) = -\rho \{n\}^T \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} \right) \quad (\text{Eq. A.16})$$

Si substituïm l'equació B.10 en l'equació B.10 obtindrem una expressió que conté els



termes de pressió i es termes de desplaçament.

$$\int_{vol} \frac{1}{c^2} \delta P \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} dV + \int_{vol} (\{L\}^T \delta P) (\{L\} P) dV = \int_s -\rho \delta P \{n\}^T \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} \right) dS \quad (\text{Eq. A.17})$$

Per altra banda les funcions aproximades per elements finits per definir la variació de la pressió i del desplaçament venen donades per:

$$P = \{N\}^T \{P_e\} \quad (\text{Eq. A.18})$$

$$u = \{N'\}^T \{u_e\} \quad (\text{Eq. A.19})$$

On $\{N\}$ i $\{N'\}$ són les funcions vectors que defineixen la P i el desplaçament respectivament i $\{P_e\}$ i $\{u_e\}$ representen els vectors de pressió nodal i desplaçament nodal respectivament.

Així doncs, les derivades d'aquestes variables i l'increment virtual de la pressió poden ser descrits com a:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} &= \{N\}^T \{\ddot{P}_e\} \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} &= \{N'\}^T \{\ddot{u}_e\} \\ \delta P &= \{N\}^T \{\delta P_e\} \end{aligned} \quad (\text{Eq. A.20})$$

I per tant, si denominem com $[B] = \{L\} \{N\}^T$ l'equació principal queda de la següent manera:

$$\int_{vol} \frac{1}{c^2} (\delta P_e)^T \{N\} \{N\}^T dV \{\ddot{P}_e\} + \int_{vol} (\delta P_e)^T [B]^T [B] dV \{P_e\} + \int_s \rho (\delta P_e)^T \{N\} \{n\}^T \{N'\}^T dS \{\ddot{u}_e\} = 0 \quad (\text{Eq. A.21})$$

Simplificant l'increment virtual de pressió, l'expressió queda:

$$\int_{vol} \frac{1}{c^2} \{N\} \{N\}^T dV \{\ddot{P}_e\} + \int_{vol} [B]^T [B] dV \{P_e\} + \int_s \rho \{N\} \{n\}^T \{N'\}^T dS \{\ddot{u}_e\} = 0 \quad (\text{Eq. A.22})$$

Que representada de manera matricial queda:



$$[M_e^P] \left\{ \ddot{P}_e \right\} + [K_e^P] \{P_e\} + \rho [Re]^T \{\ddot{u}_e\} = \{0\} \quad (\text{Eq. A.23})$$

on $[M_e^P] = \int_{vol} \frac{1}{C^2} \{N\} \{N\}^T dV$ representa la matriu de la massa del fluid.

$[K_e^P] = \int_{vol} [B]^T [B] dV$ representa la matriu de rigidesa del fluid.

$[Re] = \int_S \{N\} \{n\}^T \{N'\}^T dS$ representa la matriu de la massa del fluid en la superfície d'interacció.

A.4. Anàlisi modal

El paquet Multiphysic de l'aplicació tècnica ANSYS presenta diferents tipus d'opcions d'anàlisi. L'anàlisi modal és l'opció que ens permet calcular la freqüència natural d'una estructura.

A.4.1. Hipòtesis i restriccions

- Vàlid pels graus de llibertat de l'estructura o del fluid.
- L'estructura ha de tenir un gruix constant i efectes de massa.
- La estructura no pot estar sotmesa a pressió, temperatura, desplaçaments o forces variables amb el temps.
- Per sistemes no amortits.

A.4.2. Descripció de l'anàlisi modal.

L'anàlisi modal s'utilitza per calcular la freqüència natural d'una estructura i els modes corresponents de vibració. L'equació que ens permet calcular la freqüència tenint en compte les hipòtesis i restriccions ja descrites és la següent:

$$[M] \{\ddot{u}\} + [K] \{u\} = \{0\} \quad (\text{Eq. A.24})$$

$[M]$	<i>Matriu de la massa estructural</i>	$\{u\}$	<i>Vector de desplaçament dels nodes</i>
$[K]$	<i>Matriu del gruix estructural</i>	$\{\ddot{u}\}$	<i>Vector d'acceleració dels nodes</i>

Tenint en compte que el vector desplaçament segueix la següent expressió,



$$\{u\} = \{\phi\}_i \cos \omega_i t \quad (\text{Eq. A.25})$$

$\{\phi\}_i$ Vector que representa cada mode de vibració

ω_i Freqüència circular natural (rad / s)

t Temps (s)

L'equació B.24 de la pàgina anterior queda de la següent manera:

$$(-\omega_i^2 [M] + [K])\{\phi_i\} = \{0\} \quad (\text{Eq. A.26})$$

Perquè es compleixi aquesta igualtat es poden donar dues circumstàncies: o bé el vector dels modes de vibració és nul o bé el determinant de la primera part de l'equació és nul. Com el vector dels modes de vibració mai no pot ser nul, l'expressió es redueix a que el determinant sigui nul.

$$|-\omega_i^2 [M] + [K]| = 0 \quad (\text{Eq. A.27})$$

Aquests tipus de problema es resol amb tècnica computacional i pot arribar a resoldre n valors de ω_i^2 sent n el nombre de Graus de llibertat. Cal dir que un vegada extrets tots els ω_i^2 la freqüència natural seguirà la següent equació:

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (\text{Eq. A.28})$$

f_i Freqüència natural

A.4.3. Descripció de l'Anàlisi modal amb aigua.

Quan l'anàlisi modal es realitza amb aigua les equacions s'ha de tenir en compte la massa de l'aigua i les equacions queden lleugerament modificades.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F^{pr}\} \quad (\text{Eq. A.29})$$

$\{F^{pr}\}$ Vector de la pressió del fluid a la superfície de interacció S

$$\{F^{pr}\} = \int_S \{N'\} P \{n\} dS = \int_S \{N\} \{N'\}^T \{n\} dS \{P_e\} = [\text{Re}] \{P_e\} \quad (\text{Eq. A.30})$$

$$[\text{Re}]^T = \int_S \{N\} \{N'\}^T \{n\} dS \quad (\text{Eq. A.31})$$

De manera que l'equació dinàmica fonamental per l'estructura queda:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = [\text{Re}]\{P_e\} \quad (\text{Eq. A.32})$$



Que en definitiva queda de la següent manera:

$$\begin{bmatrix} [M_e] & [0] \\ [M_{fs}] & [M_e^p] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{u}_e\} \\ \{\ddot{P}_e\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_e] & [K_{fs}] \\ [0] & [K_e^p] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u_e\} \\ \{P_e\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{0\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} \quad (\text{Eq. A.33})$$

on $[M_{fs}] = \delta[\text{Re}]^T$ i $[K_{fs}] = -[\text{Re}]$. El subíndex e fa referència a l'element.



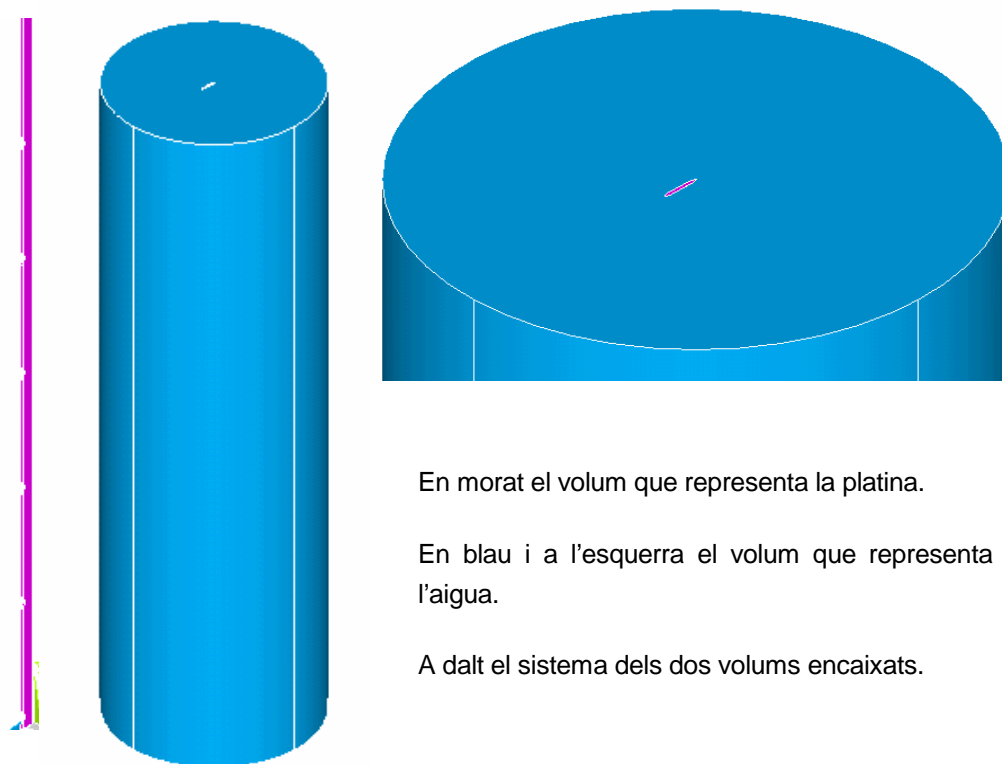
B.Procediment de l'anàlisi modal en aigua.

A continuació es descriuen els passos a seguir en el càlcul de les freqüències naturals d'un cos quan aquest està envoltat d'aigua.

B.1. Requeriments previs.

Es tracta de la descripció dels passos a seguir en l'anàlisi modal d'un cos submergit en aigua. Així doncs es parteix del disseny i el mallat del sistema.

B.2. Definició de dues zones de fluid(F-F, F-I).



En morat el volum que representa la platina.

En blau i a l'esquerra el volum que representa l'aigua.

A dalt el sistema dels dos volums encaixats.

Figura B.1 Disseny bàsic

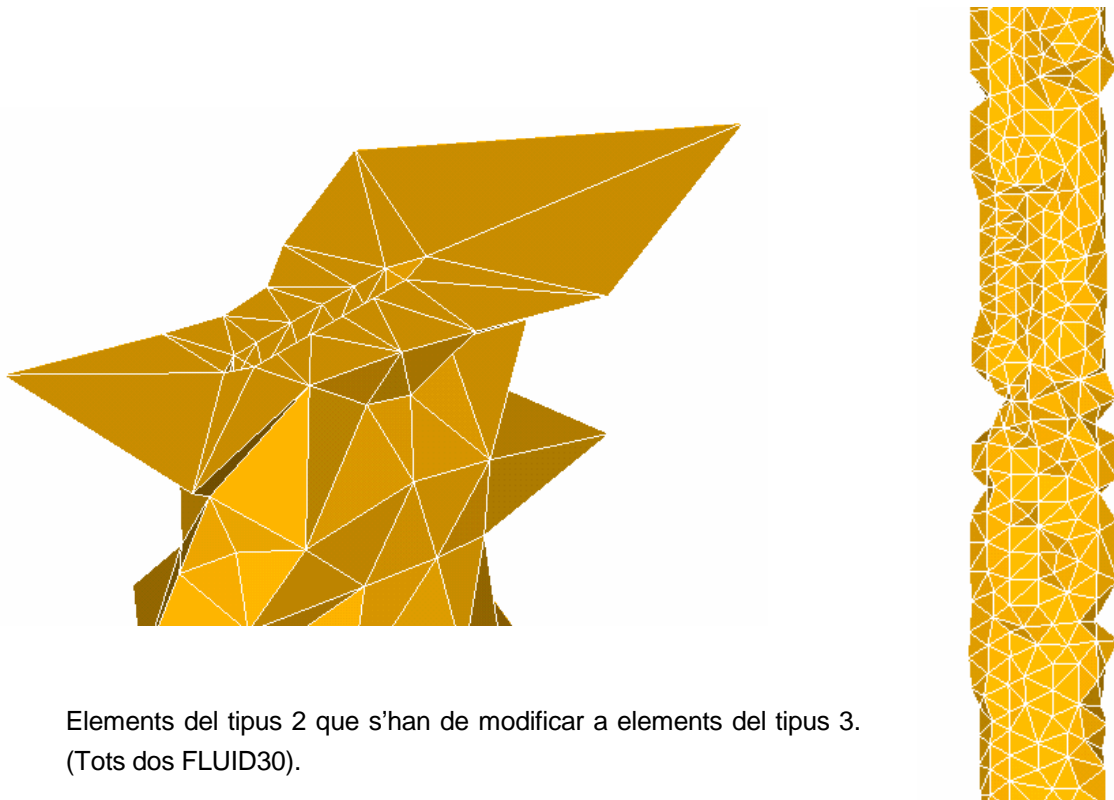
Partint de l'estructura i el fluid dissenyat i mallat cal seguir els passos que es descriuen a continuació. Prèviament però s'ha de tenir definit un tipus d'element pel fluid que representarà la zona d'interacció sòlid-fluid.

Main menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → FLUID30



Per tal de definir la zona de fluid que serà interacció entre el fluid i el sòlid haurem de seleccionar els elements del tipus 2 (FLUID30) que estiguin en contacte amb la superfície del sòlid. Un cop seleccionats els designem del tipus 3, FLUID30 també, però és necessari per determinar dues zones de fluid (fluid-fluid, fluid-sòlid).

- *Select → Entities → Volumes → From full → Select All*
- *Select → Entities → Volumes → By num/pick → From full → OK → (Seleccionem el volum de fluid)*
- *Select → Entities → Areas → Attached to → Volumes → From full → OK*
- *Plot → Areas (Per comprovar que estiguin ben seleccionades)*
- *Select → Entities → Areas → By num/pick → Unselect → OK → (Deseleccionem les tapes i les cares externes del cilindre de fluid)(Quedaran les àrees de fluid que estan en contacte amb la superfície)*
- *Select → Entities → Elements → By attributes → Element type → 2 → From full → OK*
- *Select → Entities → Elements → Attached to → Areas → Reselect → OK*



Elements del tipus 2 que s'han de modificar a elements del tipus 3.
(Tots dos FLUID30).

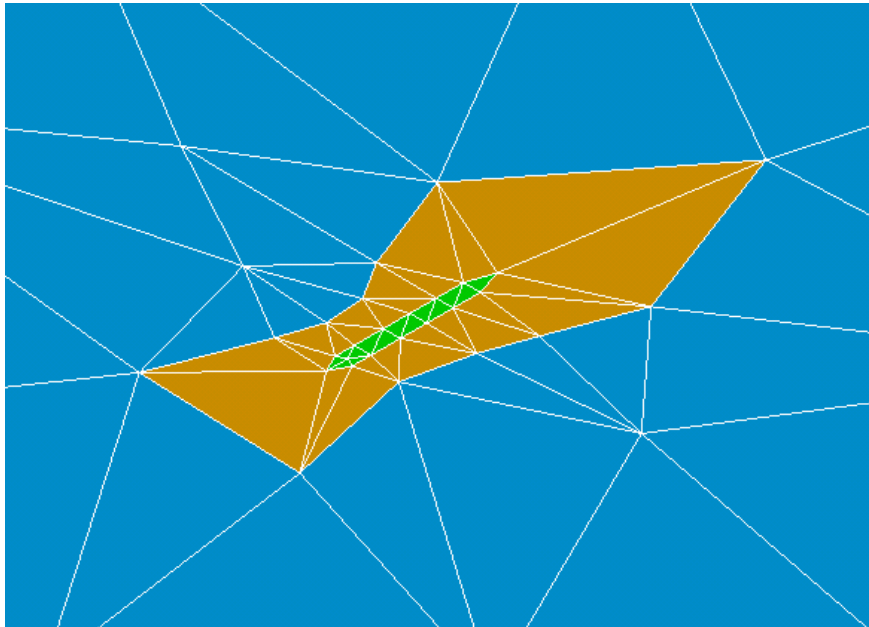
Figura B.2 Malla del fluid interacció amb el sòlid

Fins aquest punt ja tenim seleccionat els elements del tipus 2 que s'hauran de modificar en elements del tipus 3.



- *Main menu* → *Preprocessor* → *Modeling* → *Move/Modify* → *Elements* → *Pick All* → *→ Element Type* → *3* → *OK*

Ara ja tenim definides les dues zones del fluid ben definides i diferenciades (en blau FLUID-FLUID, en vermell FLUID-SÒLID i en taronja SÒLID).



Dues zones de fluid diferenciades i el sòlid.

Figura B.3 Visió general dels tres tipus d'element

B.3. Aplicació de la condició FSI

A continuació és necessari definir la superfície de contacte com a FSI (Fluid Surface Interaction).

Si mirem enrera veiem que les àrees que tenim seleccionades són precisament les superfícies d'interacció. No cal tornar-les a seleccionar perquè queden memoritzades. Tot i així si fem un "Plot, Areas" sempre ens podem assegurar quines àrees estan seleccionades. En cas que no ho estiguin podem tornar a aplicar els passos anterior.

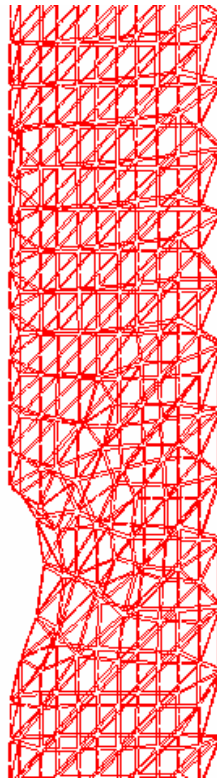
- *Plot* → *Areas* (*Per comprovar que les àrees seleccionades siguin les d'interacció*).
- *Select* → *Entities* → *Nodes* → *Attached to* → *Areas* → *From full* → *OK*

La funció FSI s'aplica sobre els nodes que estan sobre la superfície d'interacció.

- *Main Menú* → *Preprocessor* → *Loads* → *Apply* → *Fluid Ansys* → *FSI* → *On nodes* → *Pick All* → *OK*



Arribats en aquest punt s'ha de visualitzar una xarxa vermella definida pels nodes que defineixen l'àrea en qüestió.



Aplicació de la condició de FSI sobre nodes de la superfície d'interacció.

Figura B.4 Aplicació de la condició de contorn FSI

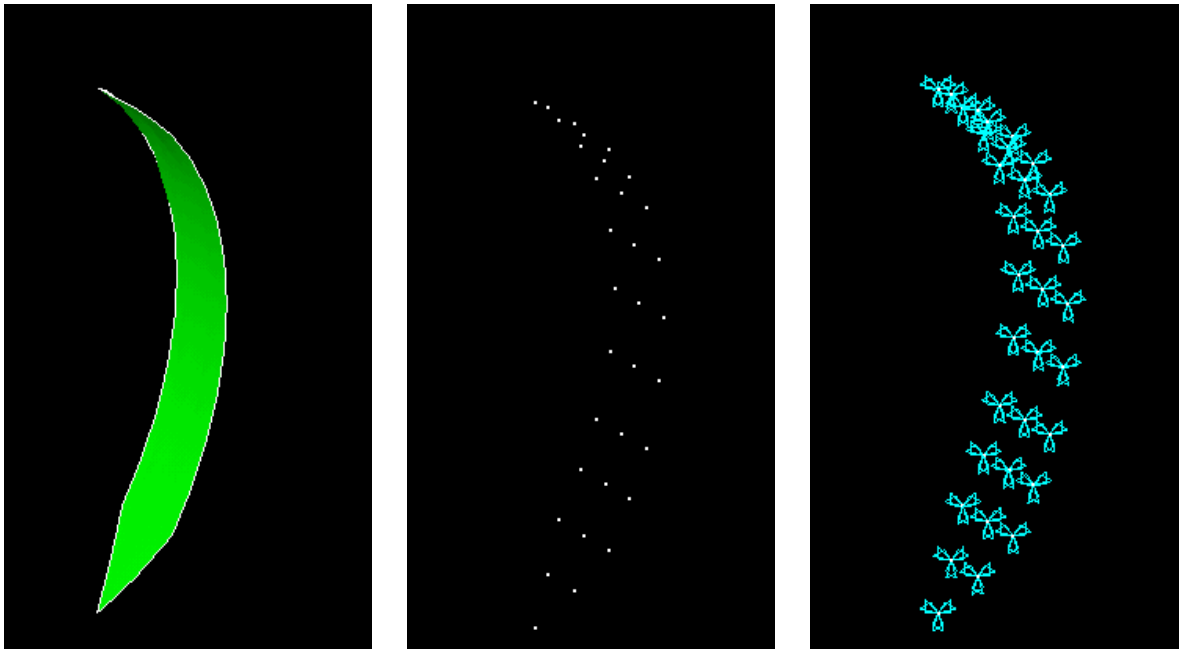
Una vegada definits aquests dos aspectes (la secció de fluid d'interacció i la capa de FSI) ja podem aplicar la resta de càrregues.

B.4. Restricció de graus de llibertat de l'estructura.

En el cas de la platina s'han de fixar tots els graus de llibertat de les cares on s'encasta les barres horitzontals. D'aquesta manera és com si en aquestes zones estiguessin encastades les reixes horitzontals sense la necessitat de que les haguem de dibuixar.

- *Select → Entities → Areas → Select All (Per esborrar les àrees que ja tenia seleccionades)*
- *Select → Entities → Areas → By num/pick → OK → (Seleccionem les àrees de l'encastament)*
- *Select → Entities → Nodes → Attached to → Areas → OK*
- *Main menu → Preprocessor → Loads → Apply → Structural → Displacement → On nodes → Pick All → UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ (No ALL DOF, perquè si no agafaria també la pressió) → OK*





Fixació dels graus de llibertat dels nodes associats a les àrees d'encaix de les barres horitzontals..

Figura B.5 Procés de fixació de graus de llibertat

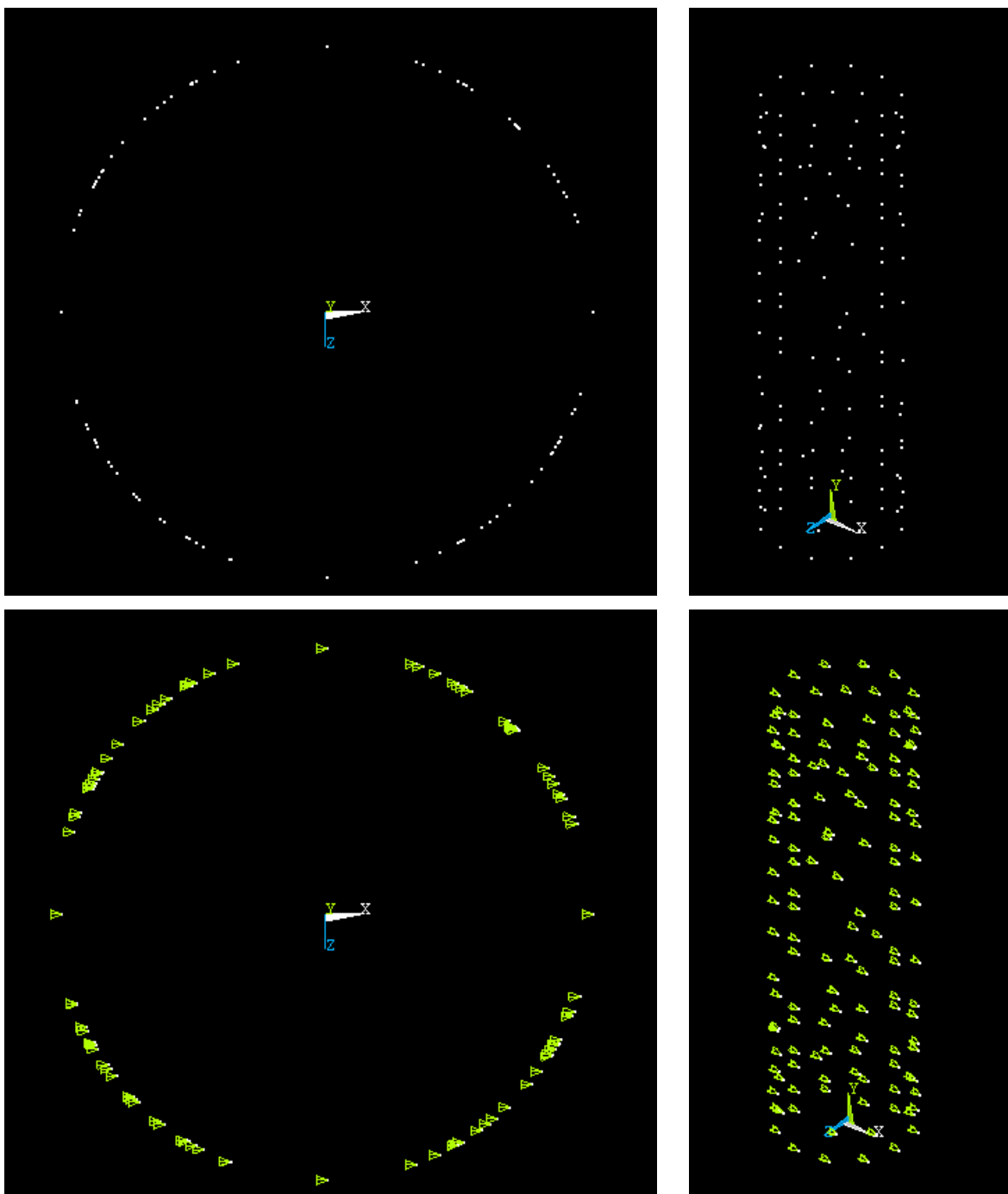
B.5. Restricció de graus de llibertat del fluid.

Ara només cal definir la pressió que delimiti el límit del fluid sobre els nodes que defineixen les cares de les parets del cilindre d'aigua. Per seleccionar-los només cal ubicar un nou eix de coordenades local del tipus cilíndric i seleccionar en base aquest nou pla de treball els nodes de radi igual al radi del cilindre.

Workplane → Local → Create a local system → By specific location → (coordenades del centre del cilindre) → 14 (numero que li assignem) → cilíndric → OK

Per tal de comprovar si realment estem en aquest pla de treball en la pròpia pantalla de treball de l'ANSYS hi ha el número corresponent al sistema de coordenades amb els quals es treballa.





Vista des de dalt i visió 3D dels nodes exteriors del cilindre de fluid abans i després de l'aplicació de la pressió respectivament.

Figura B.6 Aplicació de les condicions de contorn de P del fluid



- *Select → Entities → Nodes → Select All*
- *Select → Entities → Nodes → By Location → X = Radi del cilindre → From full → OK*
- *Main Menú → Preprocessor → Loads → Apply → Fluid Ansys → Pressure → 0 → OK*

B.6. Solve

Un cop tenim les tres fases completes ja podem solucionar el problema. Abans de res s'han de seleccionar tots els nodes i tots els elements, ja que els càlculs es fan en funció dels elements i dels nodes que es seleccionin.

- *Select → Entities → Elements → By num/pick → From full → Select All*
- *Select → Entities → Nodes → By num/pick → From full → Select All*

Per comprovar - ho :

- *Plot → Nodes*
- *Plot → Elements*

Seguidament triem el tipus d'anàlisi que es desitgi fer (en aquest cas modal) i el tipus de mètode de càlcul (en aquest cas asimètric). Acceptem el rang de freqüències de 0 a 0 perquè així no ens tanquem en un rang finit i activem el *Solve*.

- *Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis → Modal Analysis → OK*
- *Main Menu → Solution → Analysis Options → Mode Extraction Method → Unsymmetric*
- *Main Menu → Solution → Analysis Options → No. of modes to extract → 3 (o els que es necessitin)*
- *Main Menu → Solution → Analysis Options → No. of modes to expand → 3 (com a màxim els mateixos que s'extrauen)*
- *Main Menu → Solution → Solve → Current LS*

Si durant tot el procés de disseny i mallat han aparegut alguns *Warnings* immediatament després d'accionar el *Solve* (*Current LS*) ens informará dels *Warnings* que hem fet. Els acceptem i comença el càlcul.



B.7. Anàlisi de resultats.

Un cop ha acabat de calcular apareix una pantalla que ens informació que ja tenim solució (*Solution is done!*). De totes maneres això no implica que s'hagin obtingut una solució coherent.

El primer que s'ha de fer abans de visualitzar els modes és treure un resum dels resultats.

- *Main Menu → General Postprocess → Results Summary*

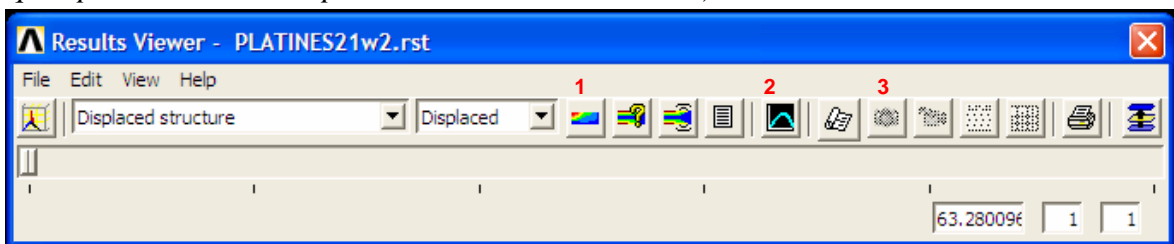
Si els resultats ens interessen podem veure els modes de vibració corresponents a les freqüències naturals obtingudes. Com només l'estructura és la que vibra seleccionem només els elements del tipus sòlid. Si mantinguéssim tots els elements seleccionats els elements de fluid que envolten l'estructura ens impedirien visualitzar com vibra l'estructura. En el meu cas l'element 1 és el sòlid.

- *Select → Entities → Elements → By attributes → Element Type → From Full → 1 → OK*

Així doncs ja podem visualitzar els resultats.

- *Main Menu → General Postprocess → Results Viewer → Nodal solution → DOF solution → Displaced Structure → Plot results*

(En aquesta pantalla podem anar visualitzant tots els modes de vibració desplaçant una guió que apareix a sota de la pantalla del visor de resultats).



1. Plot results
2. Crea carpeta on emmagatzemar les imatges que generem
3. Grava l'imatge que hagi en pantalla i la

Figura B.7 Esquema del visualitzador de resultats



Així doncs en aquests cas els modes que es veuen amb la freqüència pròpia associada es mostren a continuació.

```
DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
RFRQ=63.28  
IFRQ=0  
MODE Real part  
DMX =.485153
```



Figura B.8 Mode 1 de la platina

```
DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =2  
RFRQ=63.379  
IFRQ=0  
MODE Real part  
DMX =.572911
```



Figura B.9 Mode 2 de la platina



DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =3
RFRQ=63.775
IFRQ=0
MODE Real part
DMX =.484788



Figura B.10 Mode 3 de la platina



C.Problema de verificació.

Càlcul de la freqüència natural d'un anell submergit en aigua mitjançant ANSYS.

C.1. Descripció del problema.

Un anell d'acer és submergit en un fluid compressible (aigua). Determinar la freqüència natural pels modes de torsió del pla x-y del sistema estructura-fluid.

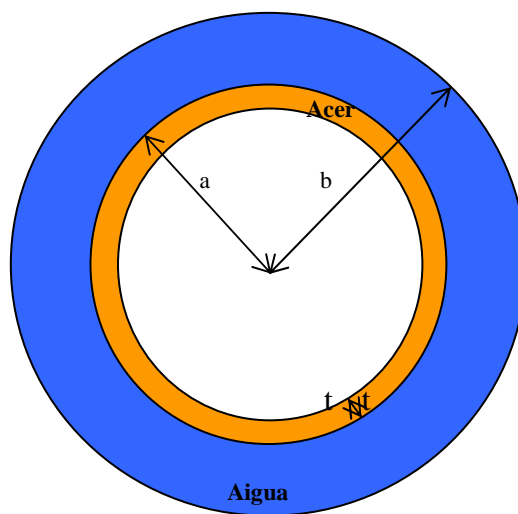


Figura C.1 Esquema del problema

C.2. Hipòtesis i descripció de models.

Per resoldre aquest problema el fluid és considerat només a un radi finit b on al seu límit (b) la pressió és 0. Aquesta condició implica un error menor del 1% si es compara amb unes condicions de fluid sense frontera o límit. La condició natural de frontera (necessària per poder simular amb l'Ansys) implica que $\delta P / \delta x = 0$ a $x = 0$ i $\delta P / \delta y = 0$ a $y = 0$.

Aquest problema es soluciona utilitzant dos anàlisis per separat. En el primer cas utilitzant un element tridimensional del tipus fluid acústic (FLUID30) conjuntament amb un element estructural del tipus xapa (SHELL 63). En el segon cas utilitzant un element bidimensional del tipus fluid acústic (FLUID29) i un element elàstic també en dues dimensions com a element estructural (BEAM3).

En el primer model de resolució, la interacció del fluid amb l'estructura genera una matriu



que no permet resoldre el sistema mitjançant un anàlisi modal (ANTYPE 2); per aquest motiu la freqüència natural s'obté mitjançant un anàlisi d'escombrat de freqüències (ANTYPE 3). Representant el desplaçament dels nodes més crítics de l'estructura respecte un rang de freqüències es podrà assignar la freqüència natural aquella on el desplaçament dels nodes sigui més gran.

En el segon model de resolució, la freqüència natural s'obté mitjançant un anàlisi modal (ANTYPE2), identificant cada freqüència als diferents modes de vibració.

C.3. Model 1. Anàlisi freqüencial.

En aquest model els elements que defineixen el cas són el FLUID30 i SHELL63.

C.3.1. Disseny de la geometria.

Per tal de tenir un control sobre el mallat de l'estructura es creen els nodes i a partir d'aquests s'assignen els elements. Es defineixen 3 elements (1 de SHELL 63 i 2 de FLUID30) i no 2 per tal de distingir entre el fluid en contacte amb l'estructura i el que no ho està.

L'element 1 es el FLUID30 que estarà en contacte amb l'estructura i l'element 3 és el FLUID30 que no estarà en contacte amb l'estructura. L'element 2 és el que defineix l'anell.

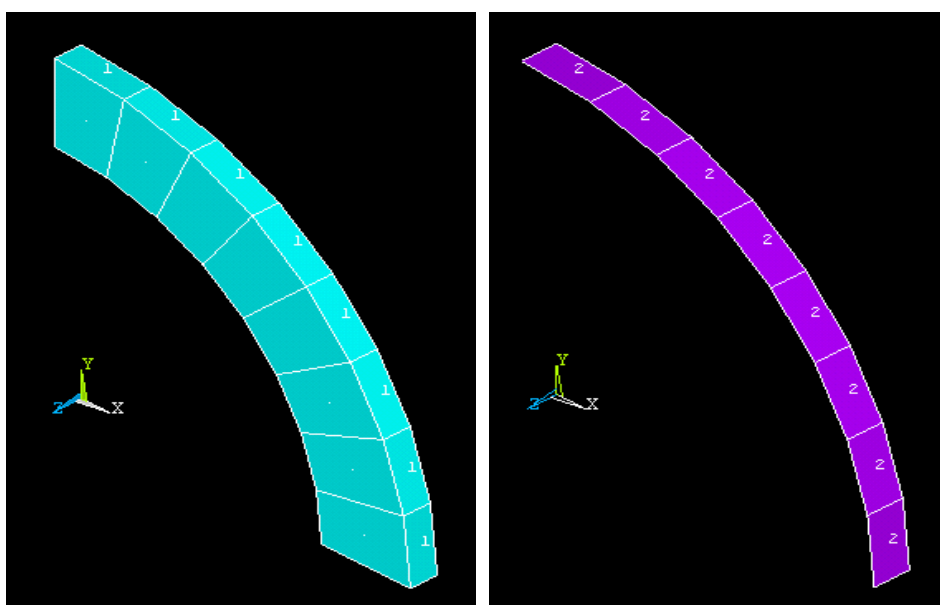


Figura C.2 Fluid en contacte amb la superfície (esquerra) i la superfície (dreta)



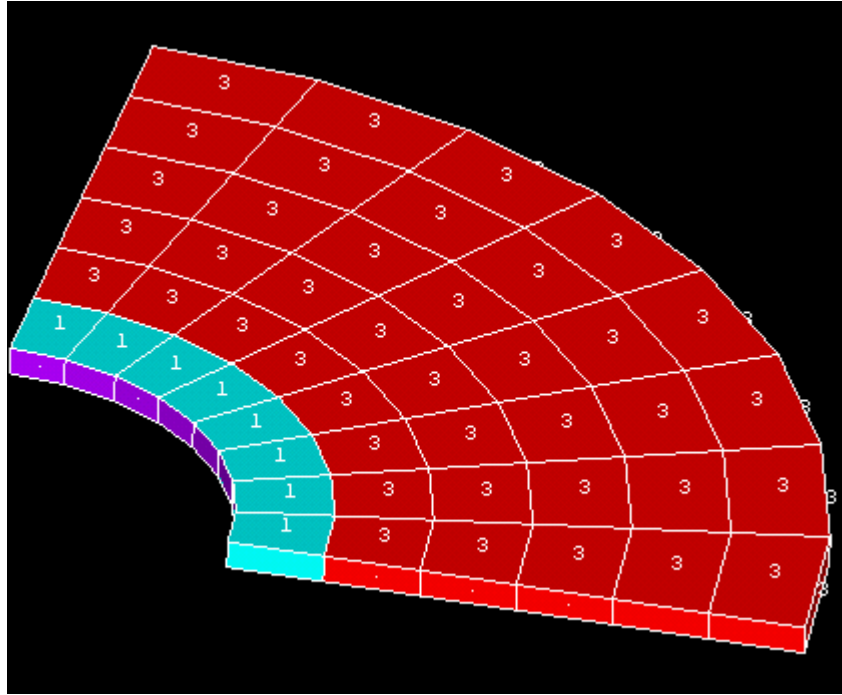


Figura C.3 Conjunt de tots els elements

C.3.2. Aplicació de càrregues.

Cada element necessita certes dades d'entrada. S'han imposat les següents condicions:

- La pressió a tots els nodes externs (de radi 30) és zero.
- El desplaçament en l'eix z en els nodes situats sobre $x=0$ i sobre $y=0$ és nul.
- S'han aplicat condicions de fixació en els límits de l'anell.
- S'han definit tots els nodes de radi 10 com a zona d'interacció fluid-sòlid, de manera que simula fluid en l'interior de l'anell.

Finalment, per tal d'excitar l'estructura i provocar la seva vibració, s'ha imposat una força sobre el node 1 en el sentit de l'eix de les abscisses.

C.3.3. Resultats.

Un cop el sistema està solucionat podem observar el procés de deformació de l'estructura mitjançant les diferents eines que ens proporciona l'ANSYS.

Per poder veure l'estat de l'estructura al final cal trobar la freqüència natural. Com es tracta d'un anàlisi freqüencial s'han representat els desplaçaments de diferents nodes (tots continguts en el tipus d'element 2) respecte un rang de freqüències de fins a 100 Hz.

Amb aquesta representació més àmplia es pretén trobar un rang per poder acotar una



nova resolució i millorar la solució obtinguda.

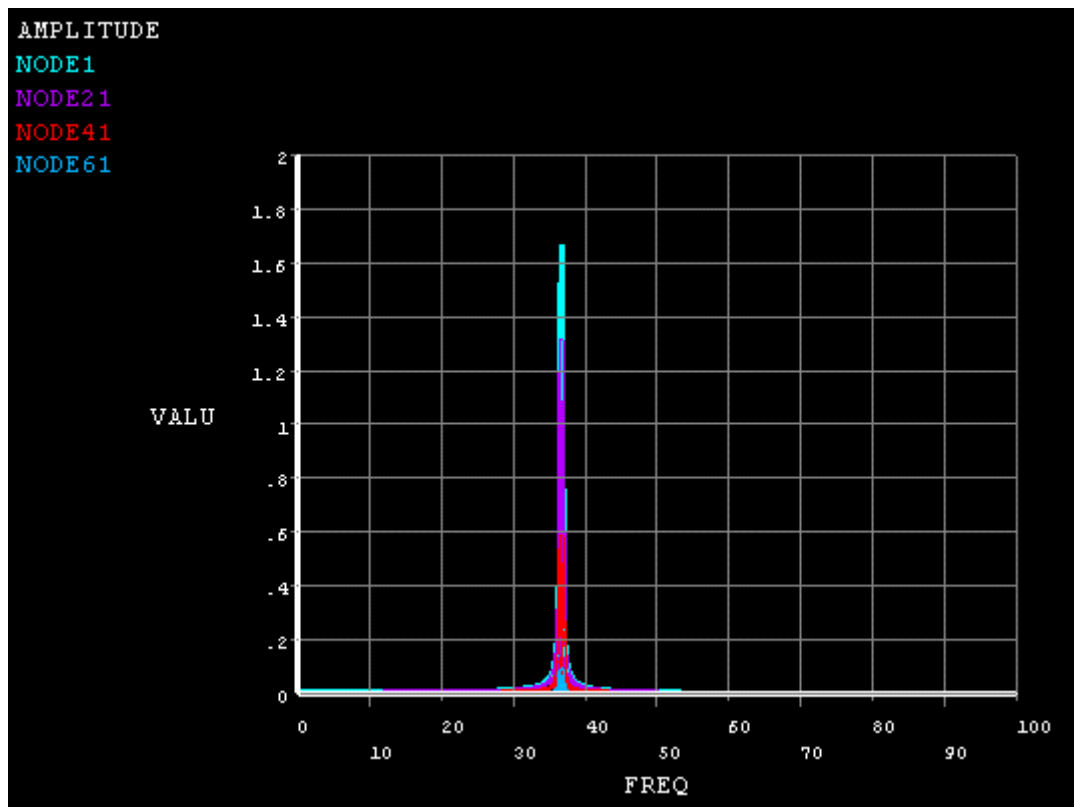


Figura C.4 Representació de la freqüència respecte el desplaçament de diferents nodes

Observant aquest gràfic veiem com la freqüència que busquem està entre 30 i 40 Hz. Podem fer una nova resolució imposant que el nou rang de freqüències per fer vibrar l'estructura vagi de 30 a 40 Hz.



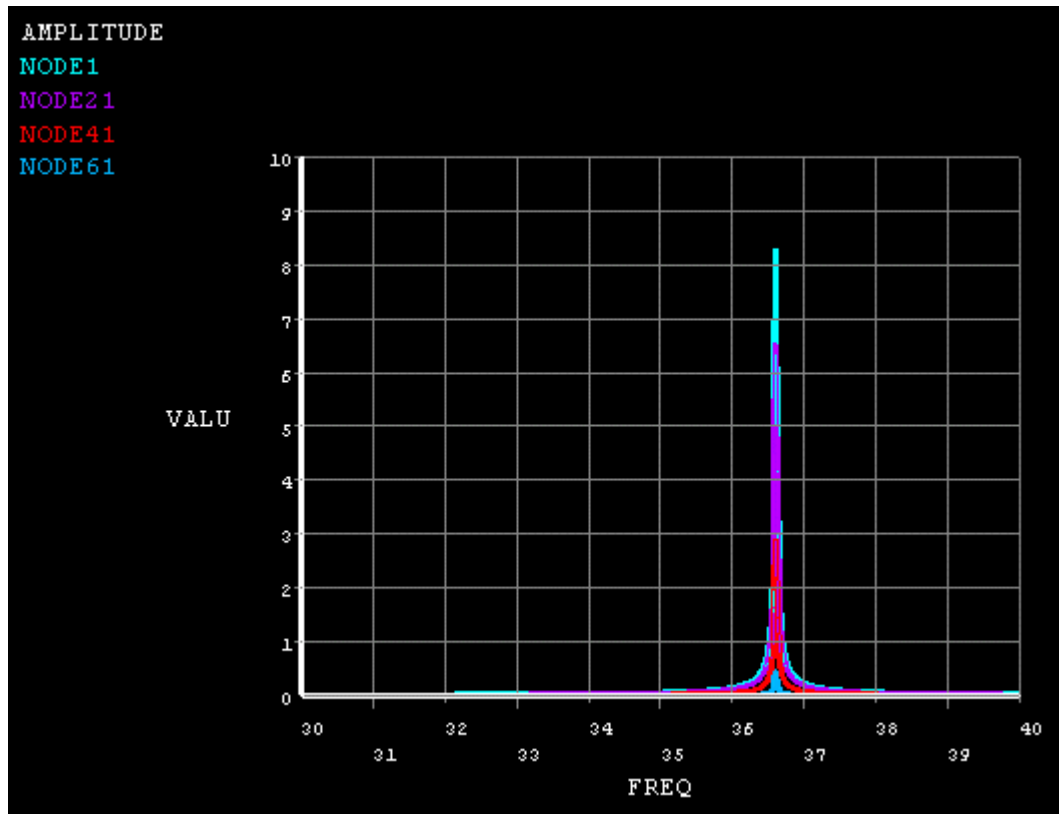


Figura C.5 Representació de la freqüència respecte el desplaçament de diferents nodes

De nou observem que podem seguir acotant el rang de freqüències entre 36 i 37 Hz. Així doncs fem una nova resolució amb aquesta nova informació. Així es va duent a terme fins a obtenir una solució amb un grau d'exactitud considerable. En el nostre cas la solució s'ha arribat a limitar entre 36.61 i 36.62 Hz.



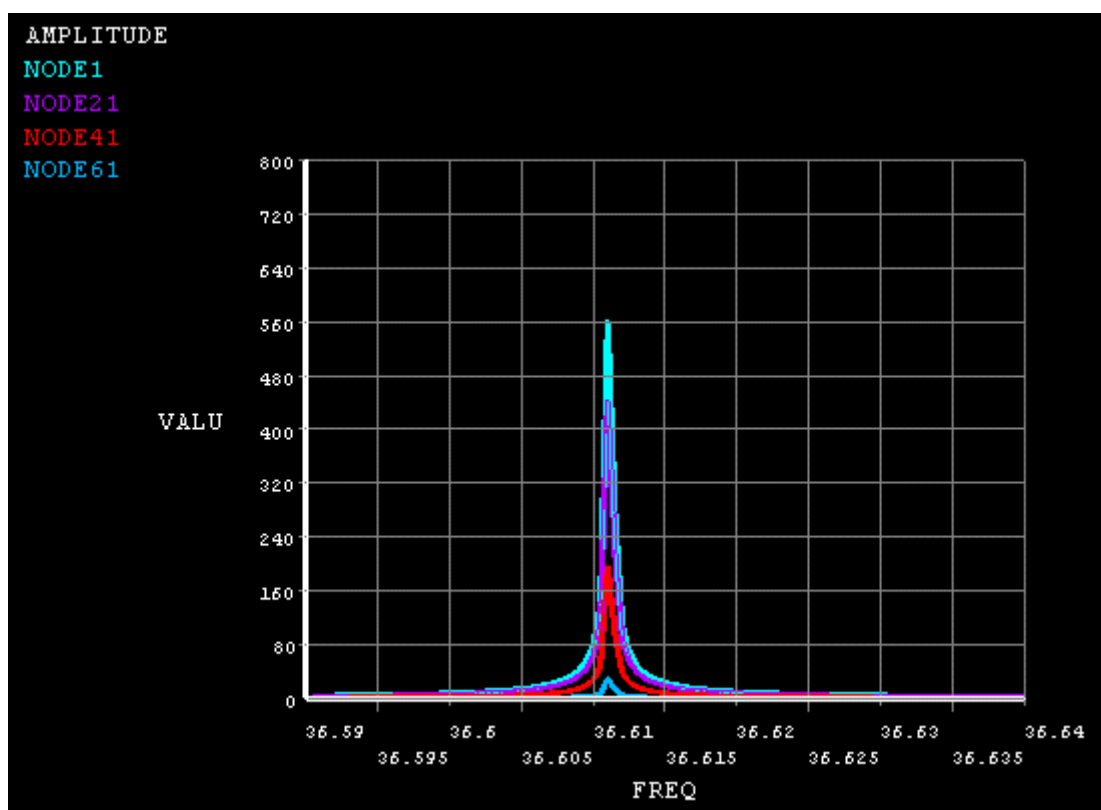


Figura C.6 Representació de la freqüència respecte el desplaçament de diferents nodes

Un cop sabem la freqüència natural podem observar l'estructura deformada.

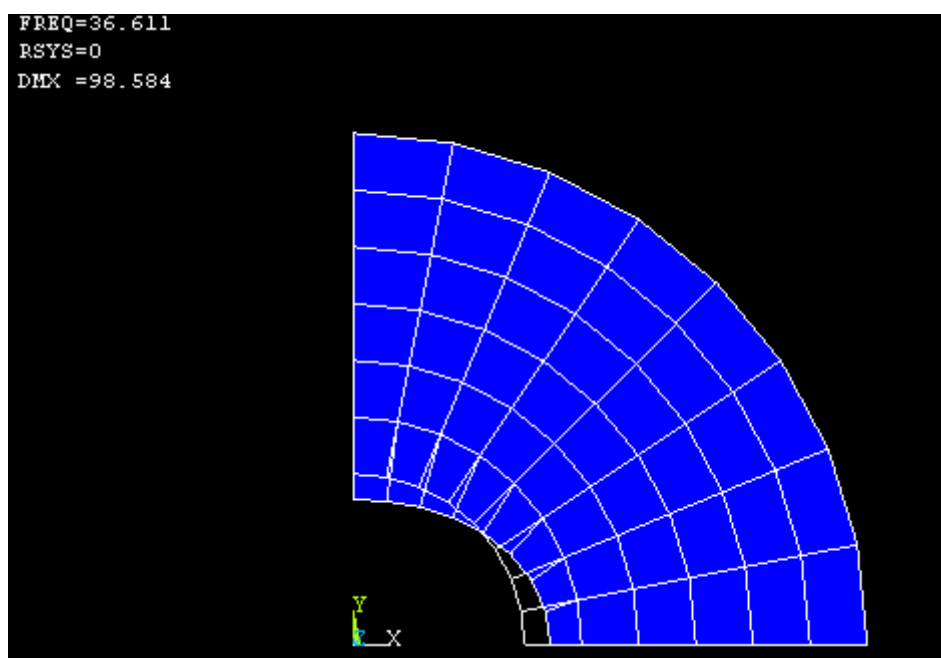


Figura C.7 Deformació de l'estructura a 36.6 Hz



C.4. Model 2. Anàlisi modal.

C.4.1. Disseny de la geometria.

Per tal de tenir un control sobre el mallat de l'estructura es creen els nodes i a partir d'aquests s'assignen els elements. Es defineixen 3 elements (1 de BEAM3 i 2 de FLUID29) i no 2 per tal de distingir entre el fluid en contacte amb l'estructura i el que no ho està.

L'element 1 es el FLUID29 que estarà en contacte amb l'estructura i l'element 3 és el FLUID29 que no estarà en contacte amb l'estructura. L'element 4 és el que defineix l'anell BEAM3.

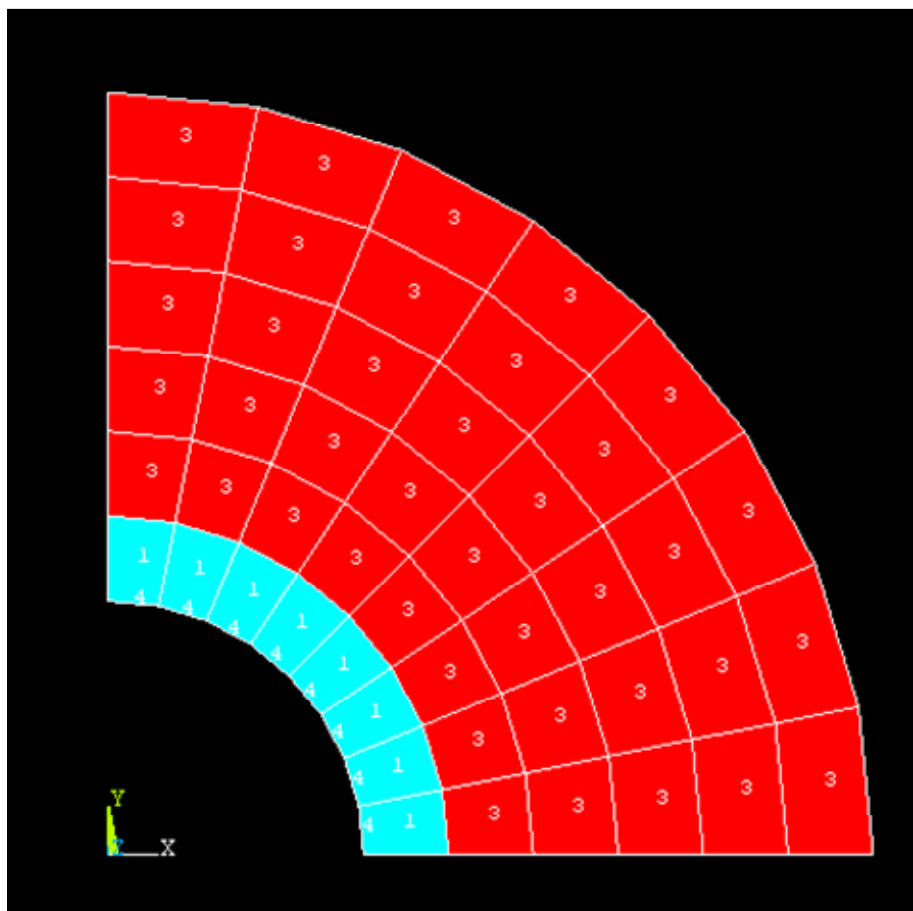


Figura C.8 Esquema dels diferents elements

C.4.2. Aplicació de càrregues.

Cada element necessita certes dades d'entrada. S'han imposat les següents condicions:

- La pressió a tots els nodes externs (de radi 30) és zero.
- S'han aplicant condicions de fixació de l'estructura en els extrems del quart d'anell.



- S'han definit tots els nodes de radi 10 com a zona d'interacció fluid-sòlid. Condició que simula un fluid a l'altra cara de l'estructura sòlida (la interna).

En aquest tipus d'anàlisi no cal provocar una excitació ni imposar unes condicions de vibració ja que l'anàlisi modal ja té definides aquestes condicions.

C.4.3. Resultats.

A diferència de l'anàlisi per escombrat de freqüències a qui no cal representar el desplaçament respecte la freqüència; el resultat obtingut és directament la freqüència natural en cada mode de vibració. En aquest cas només ens interessa el mode de vibració 1 ja que és el cas comparable amb l'anàlisi freqüencial (és a dir vibren de la mateixa manera). La freqüència natural de vibració en aquest mode ha resultat ser de 36.545 Hz, valor molt semblant a l'obtingut amb l'altre tipus d'anàlisi.

Un cop determinada la freqüència natural podem representar la deformada.

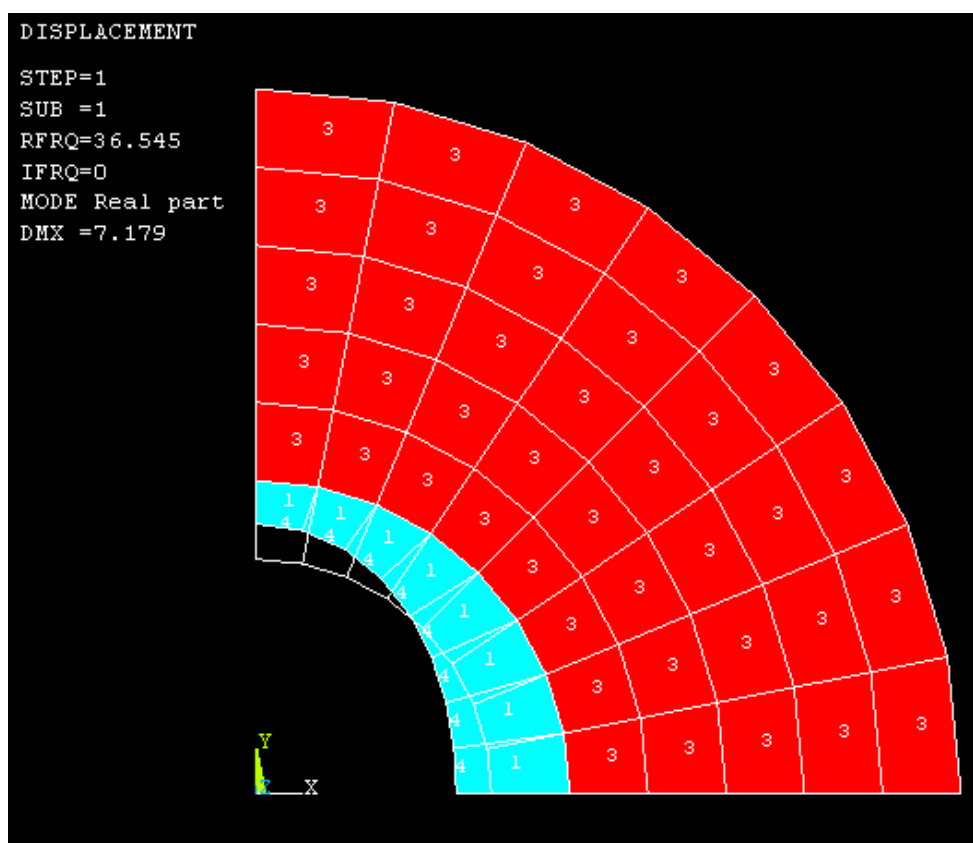


Figura C.9 Representació de la deformada a 36.545 Hz

I finalment es poden representar totes les freqüències dels diferents modes de vibració que s'han obtingut sobre l'estructura.



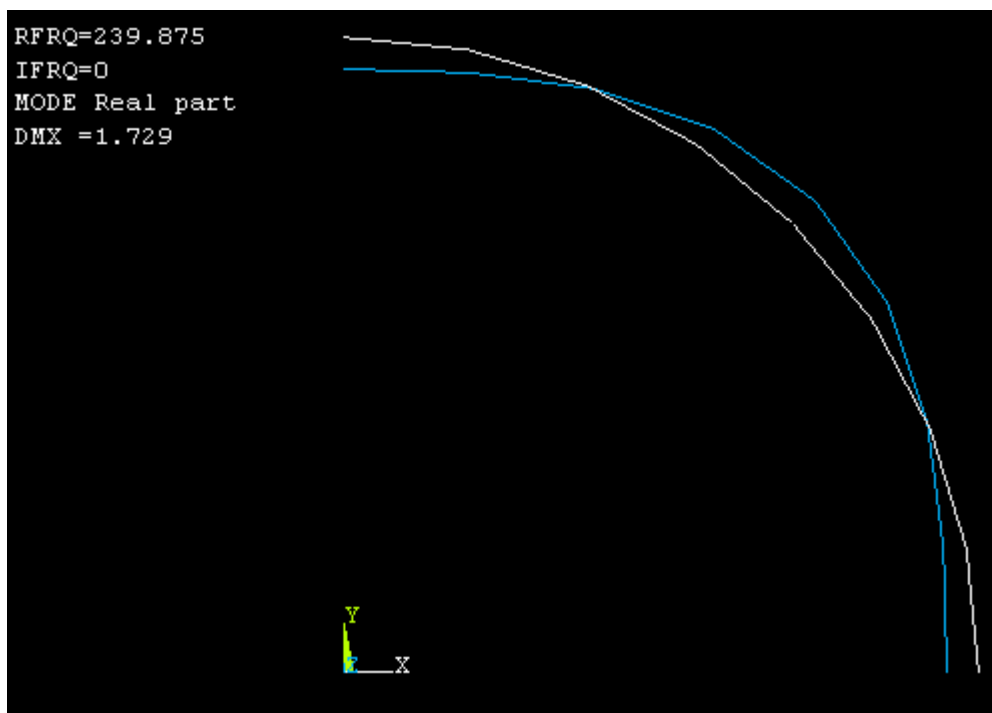


Figura C.10 Representació de la deformada a 239.875 Hz

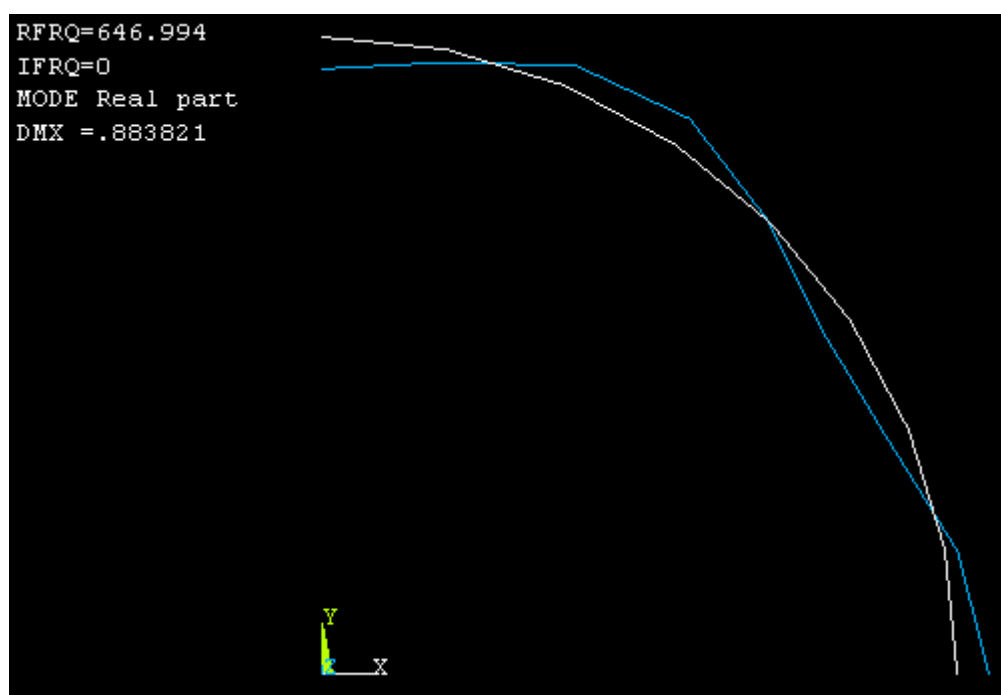


Figura C.11 Representació de la deformada a 646.994 Hz



C.5. Càlcul de la freqüència natural de l'estructura.

Per tal de poder comparar els resultats es calcula la freqüència natural de l'estructura també mitjançant els dos mètodes; amb l'anàlisi modal i l'anàlisi mitjançant un escombrat de freqüències.

C.5.1. Model 1. Anàlisi d'escombrat de freqüències.

El tipus d'element que s'utilitza en aquest cas és el SHELL63 que s'havia utilitzat en l'anàlisi amb aigua. De la mateixa manera que amb aigua caldrà aplicar una força que exciti l'estructura per vibrar i aplicar les condicions de simetria de l'estructura per completar l'anell.

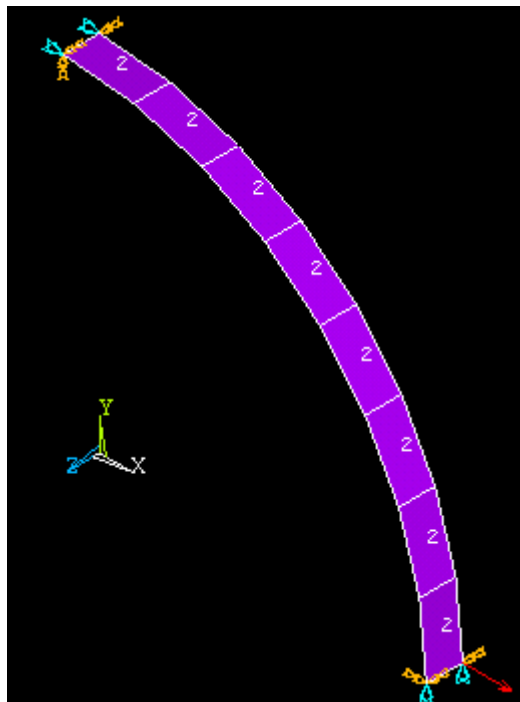


Figura C.12 Esquema de les càrregues aplicades

Per calcular la freqüència natural apliquem un escombrat de freqüències i representem els desplaçaments respecte aquesta.

Fent un escombrat de 0 a 100 Hz amb un pas de 200 veiem que la freqüència natural està al voltant de 61 a 63 Hz. Així doncs tornem a iniciar els càlculs imposant un rang de 61 a 63 Hz amb el mateix pas. Representant els nous resultats veiem que la freqüència natural de l'estructura val aproximadament entre 62.4 i 62.5 Hz.



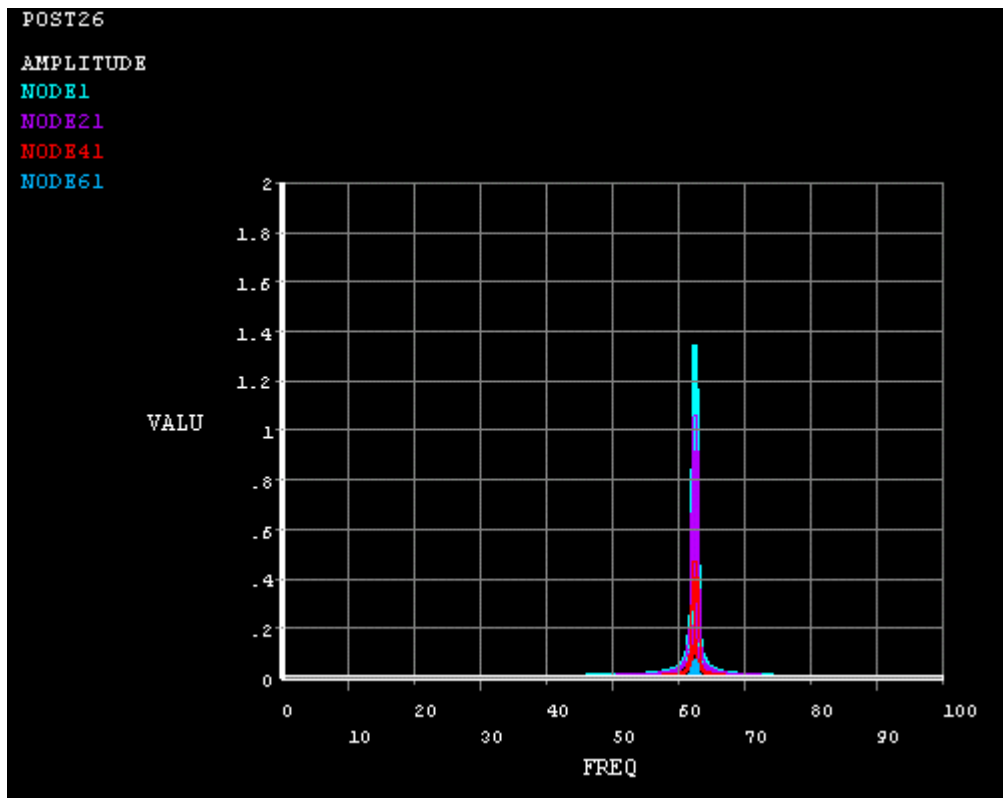


Figura C.13 Representació de la freqüència i el desplaçament de diversos nodes

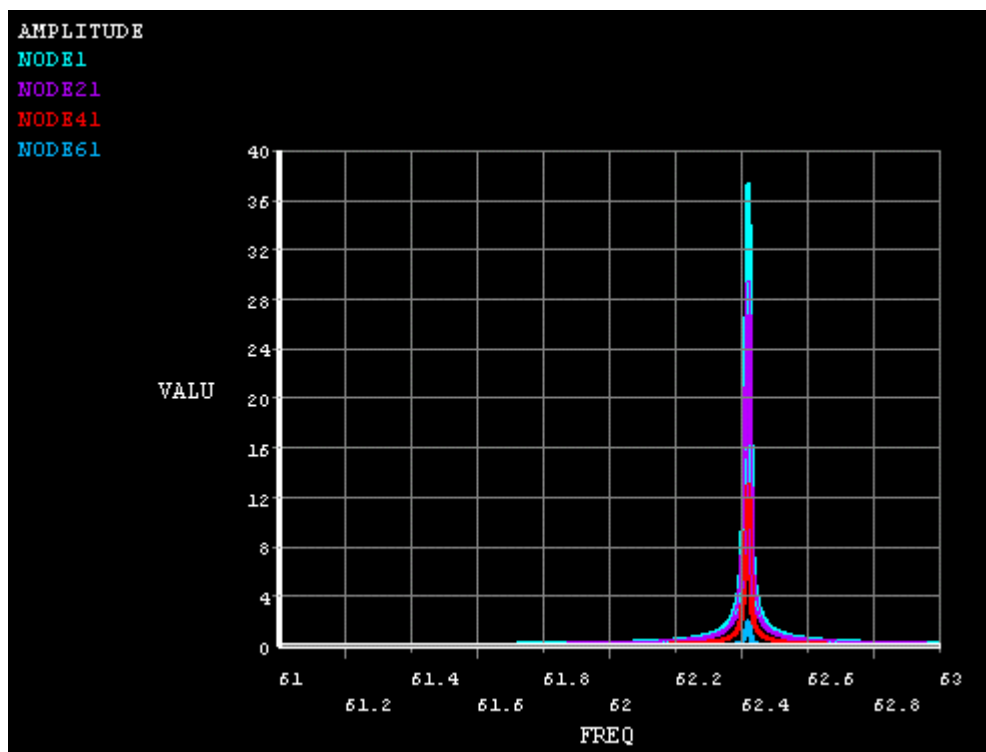


Figura C.14 Representació de la freqüència i el desplaçament de diversos nodes



C.5.2. Mètode 2. Anàlisi modal.

El tipus d'element que s'utilitza en aquest cas és el BEAM3 que s'havia utilitzat en l'anàlisi amb aigua. De la mateixa manera que en l'anàlisi modal amb aigua no cal imposar una força que exciti l'estructura. Només cal aplicar les condicions de simetria per completar l'anell.

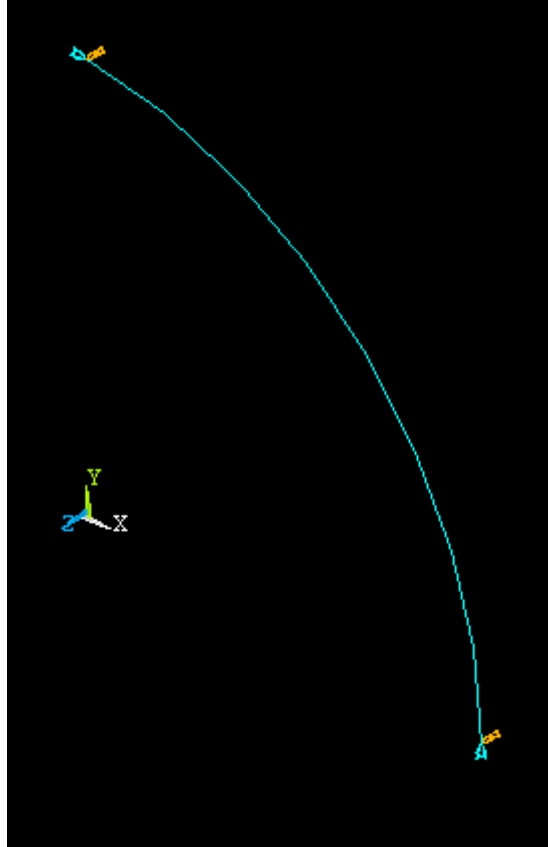


Figura C.15 Aplicació de les condicions de contorn

Així doncs, imposades les condicions obtenim les freqüències naturals de l'estructura corresponents a cada mode de vibració. La freqüència natural corresponent al primer mode de vibració és de 62.278 Hz, valor pràcticament igual que l'obtingut amb l'altre anàlisi.



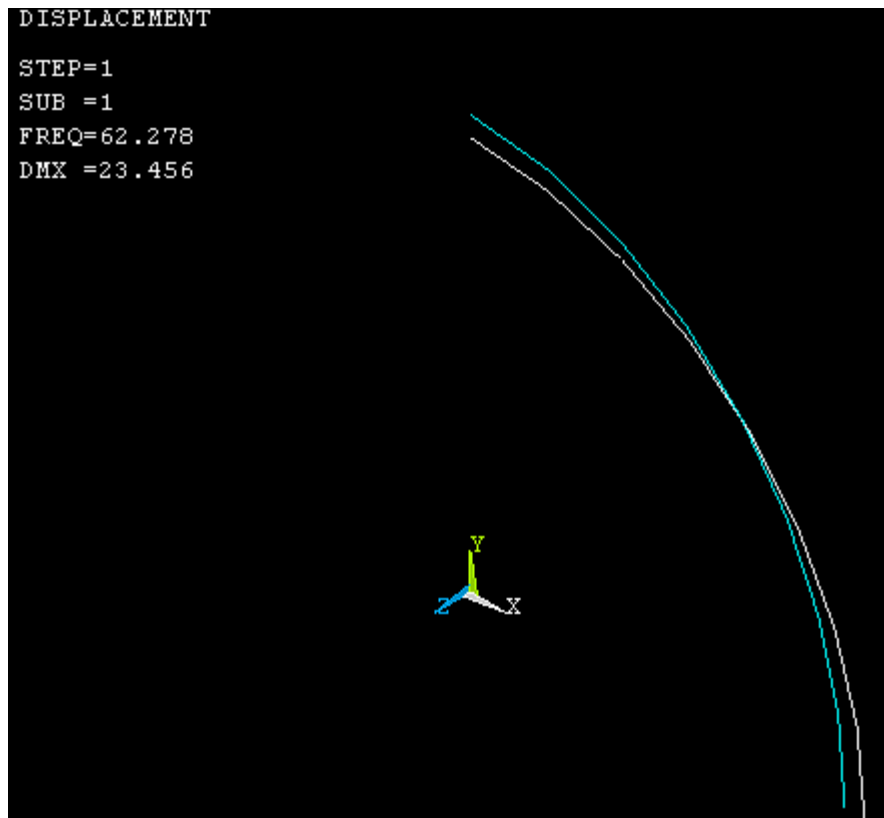


Figura C.16 Deformació de l'estructura a 62.278 Hz

C.5.3. Comparació de resultats.

A continuació es presenta una taula amb els valors obtinguts en cada tipus d'anàlisi i amb les diferents condicions (amb i sense aigua).

ANÀLISI	ELEMENTS	f_w (Hz)	f_a (Hz)
Escombrat de freqüències	FLUID30 i SHELL63	36.62	62.50
Modal	FLUID29 i BEAM3	36.55	62.28

Taula C.1 Comparació de resultats dels dos tipus d'anàlisis

Així doncs podem veure com per aquesta estructura la freqüència natural es veu disminuïda en contacte amb aigua en un 41%.

ANÀLISI	f_w (Hz)	f_a (Hz)	$\delta \times 100$
Model 1	36.62	62.45	41,4 %
Model 2	36.55	62.28	41,3 %

Taula C.2 Comparació de resultats dels dos tipus d'anàlisis



D. Disseny del perfil aerodinàmic.

Les reixes horitzontals són estructures amb un perfil aerodinàmic. Per tal de construir aquest perfil s'han seguit els següents passos:

1. Amb un sistema de coordenades cilíndric s'ha col·locat el WP al centre de coordenades i s'ha realitzat una circumferència de 57 mm.
2. Creem un "keypoint" a les coordenades 57, 117, 0. (Radi de 57 mm i un angle de 117°).
3. Sense canviar de sistema de coordenades principal copiem el keypoint creat a un radi de -220 mm. (Amb aquest nou keypoint trobarem el centre de la circumferència que tallarà tangent a la circumferència inicial en un punt de 117° respecte l'origen de coordenades).
4. Desplacem el WP al centre trobat i creem una circumferència centrada en el 0,0 del WP i de radi 220 mm.
5. Per obtenir la circumferència tangent en el punt situat a -117° cal crear un keypoint a les coordenades 57,-117°,0.
6. Copiem aquest nou keypoint a -220 mm de radi i trobarem el nou centre.
7. Desplacem el WP al centre trobat i creem una circumferència centrada en el 0,0 del WP i de radi 220 mm. Aquesta nova circumferència ens donarà part del perfil aerodinàmic inferior.

Fins aquí hem obtingut la meitat esquerra del perfil aerodinàmic. Per obtenir el complet es segueix el mateix procediment però treballant amb la nova circumferència base de 28 mm de radi.

8. Amb un sistema de coordenades cilíndric s'ha col·locat el WP a la distància entre els dos centres; concretament a 290, 0, 0. En aquesta ubicació s'ha creat una circumferència de radi 28 mm.
9. Per poder crear els keypoints cal crear un nou sistema de coordenades local de característiques també cilíndriques però centrat en el punt 290, 0, 0.
10. Creem un "keypoint" a les coordenades 28, 72, 0. (Radi de 28 mm i un angle de 72°).
11. Sense canviar de sistema de coordenades principal copiem el keypoint creat a un radi de -1050 mm. (Amb aquest nou keypoint trobarem el centre de la



circumferència que tallarà tangent a la circumferència inicial en un punt de 72° respecte l'origen de coordenades).

12. Desplacem el WP al centre trobat i creem una circumferència centrada en el 0,0 del WP i de radi 1050 mm.
13. Per obtenir la circumferència tangent en el punt situat a -72° cal crear un keypoint a les coordenades 28,-72,0.
14. Copiem aquest nou keypoint a -1050 mm de radi i trobarem el nou centre.
15. Desplacem el WP al centre trobat i creem una circumferència centrada en el 0,0 del WP i de radi 1050 mm. Aquesta nova circumferència ens donarà el que faltava del perfil aerodinàmic inferior.

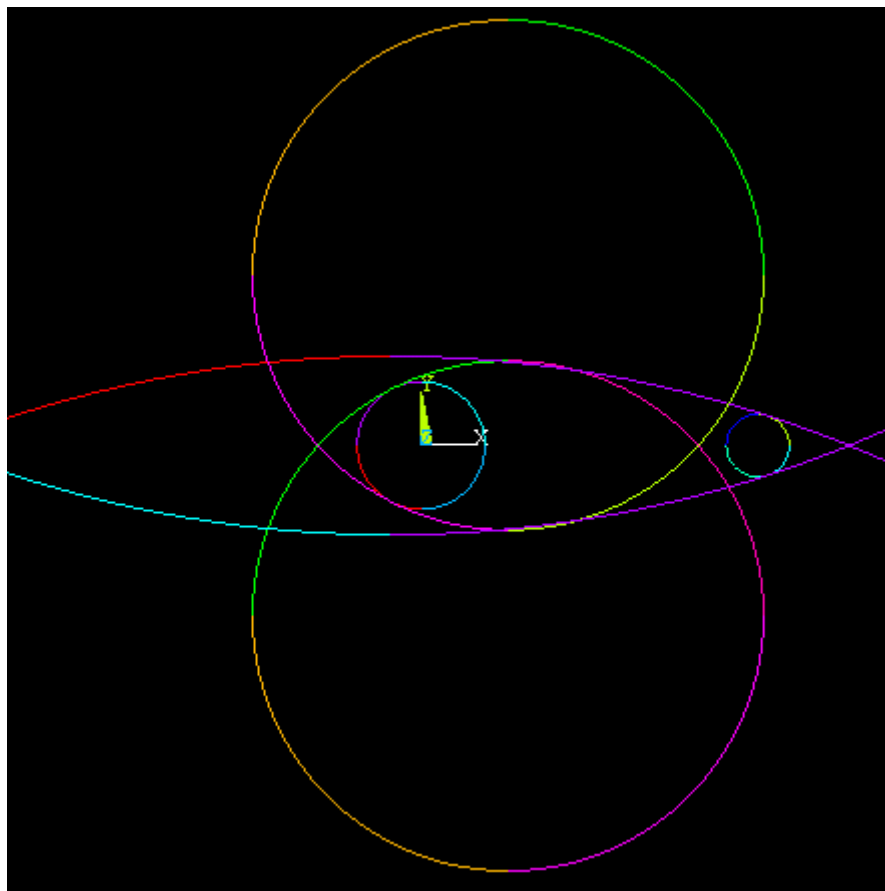


Figura D.1 Esquema dels passos de disseny del perfil aerodinàmic

Un cop tenim totes les circumferències creades utilitzem l'eina de l'ANSYS de partició de línies (Preprocessing, Modeling, Operate, Booleans, Partition, Lines). Amb aquesta eina es pot fraccionar les línies a partir de la interacció entre vàries d'elles. Un cop les tenim fraccionades només cal eliminar aquella par de les línies que no ens interessin.



Un cop s'ha aplicat l'esmentada eina el resultat del perfil és el següent:

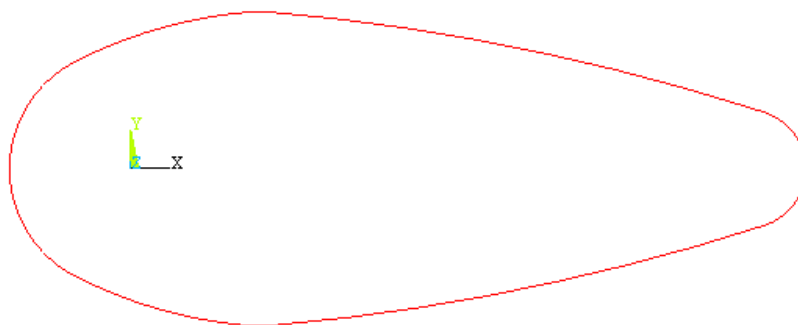


Figura D.2 Disseny bàsic del perfil aerodinàmic



E.Resultats gràfics.

E.1. Resultats gràfics de la reixa.

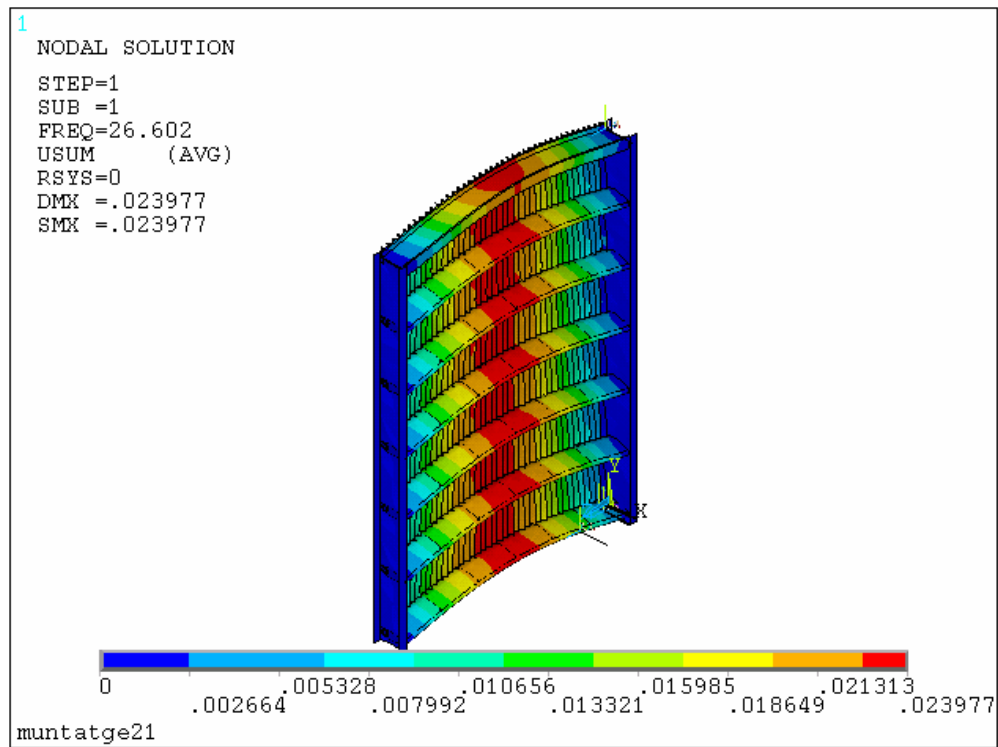


Figura E.1 Mode de vibració a 26.60 Hz.



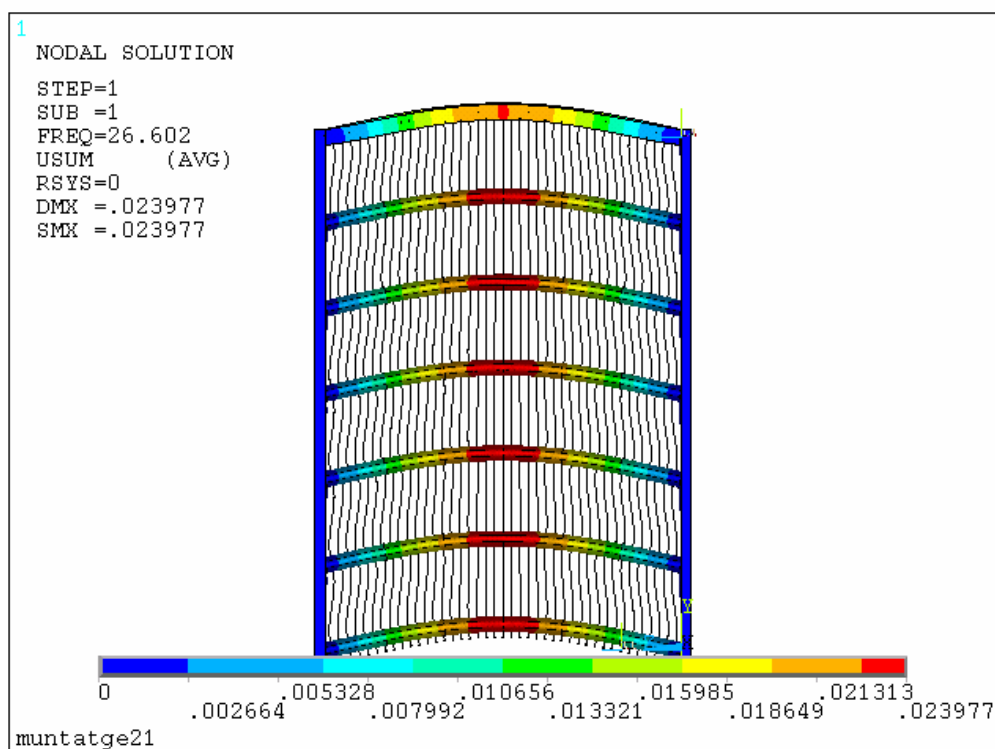


Figura E.2 Mode de vibració a 26.60 Hz.

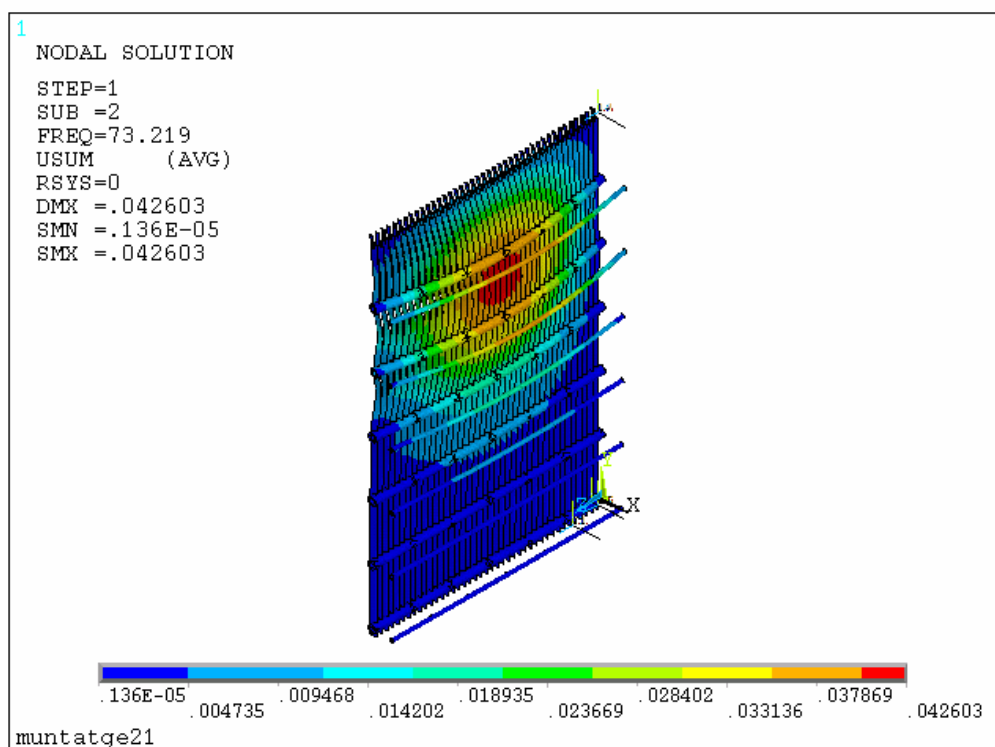


Figura E.3 Mode de vibració a 73.22 Hz.



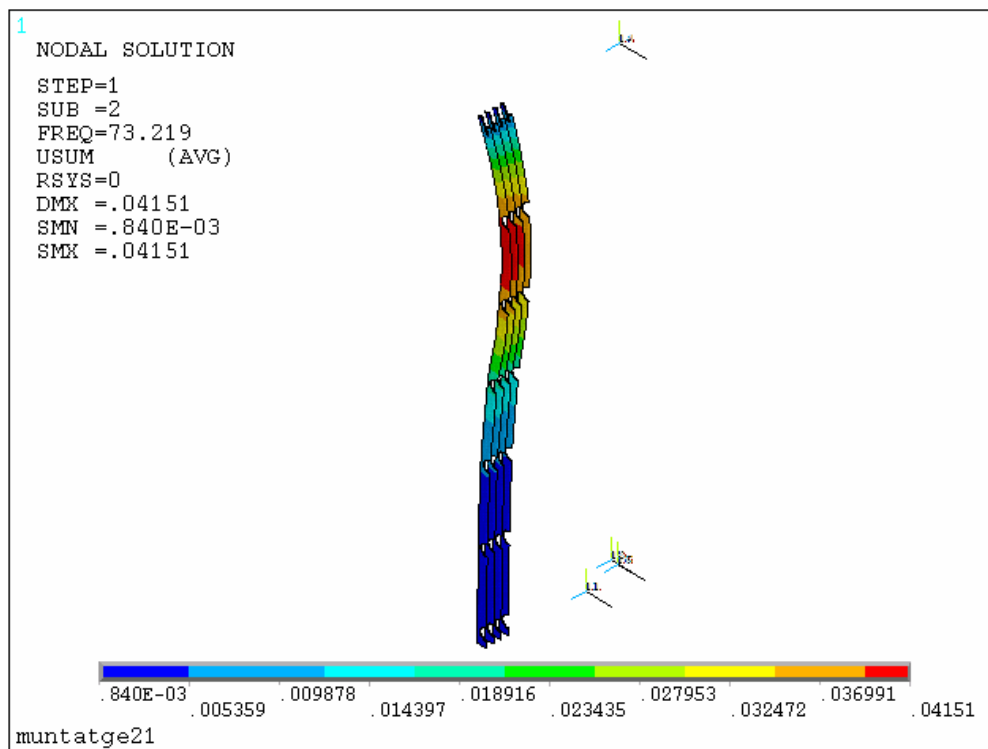


Figura E.4 Mode de vibració a 73.22 Hz

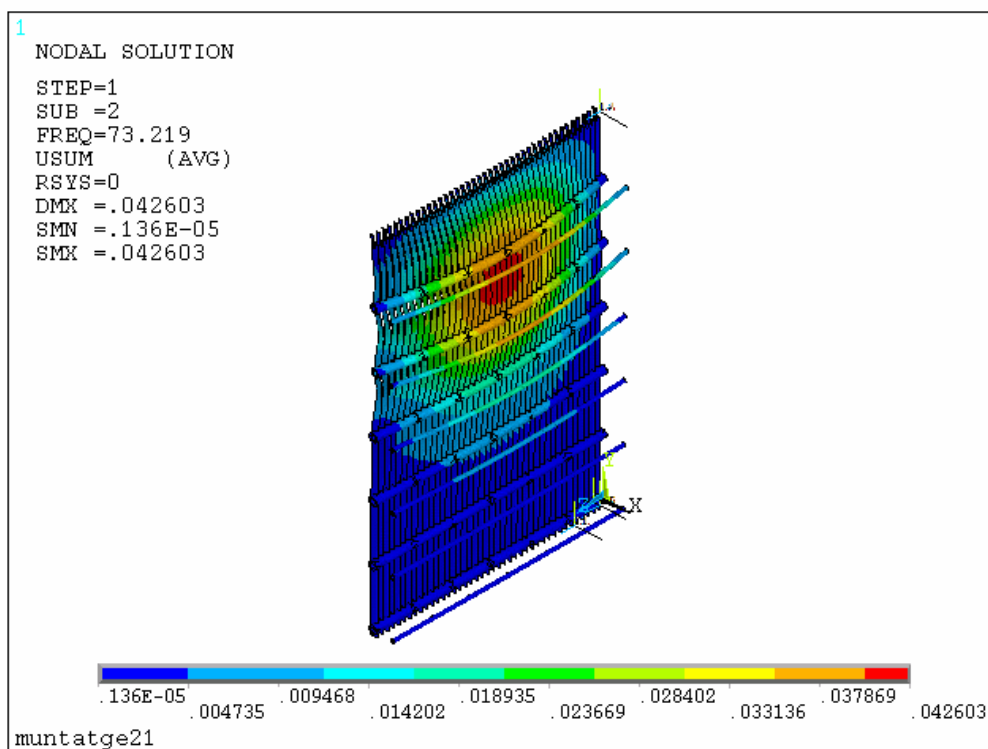


Figura E.5 Mode de vibració a 73.22 Hz



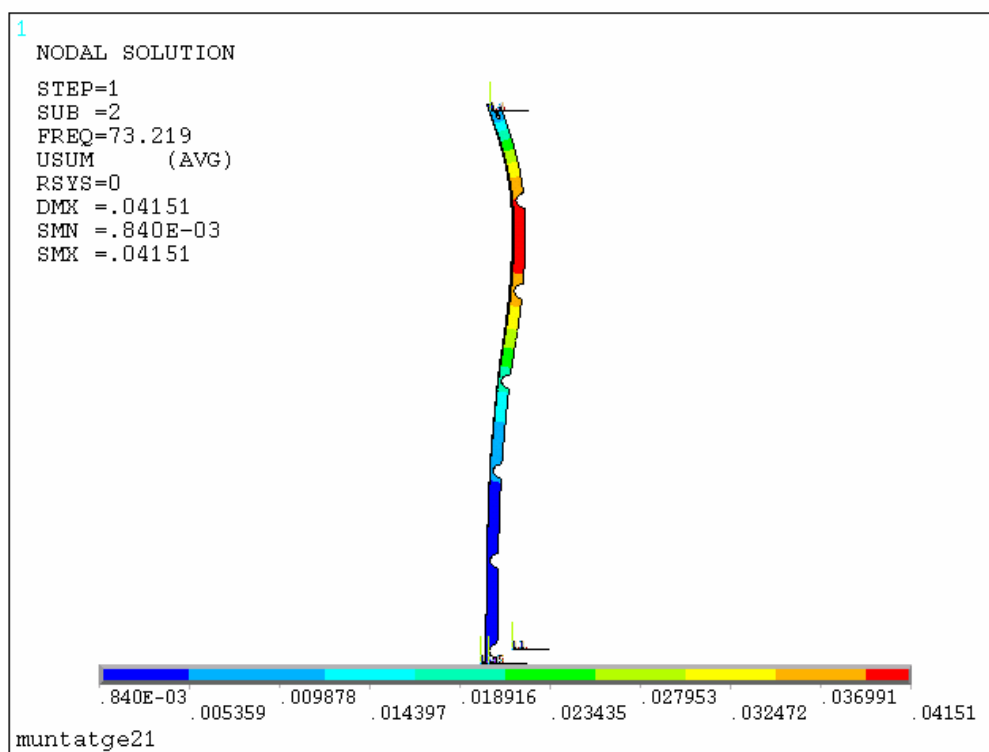


Figura E.6 Mode de vibració a 73.22 Hz

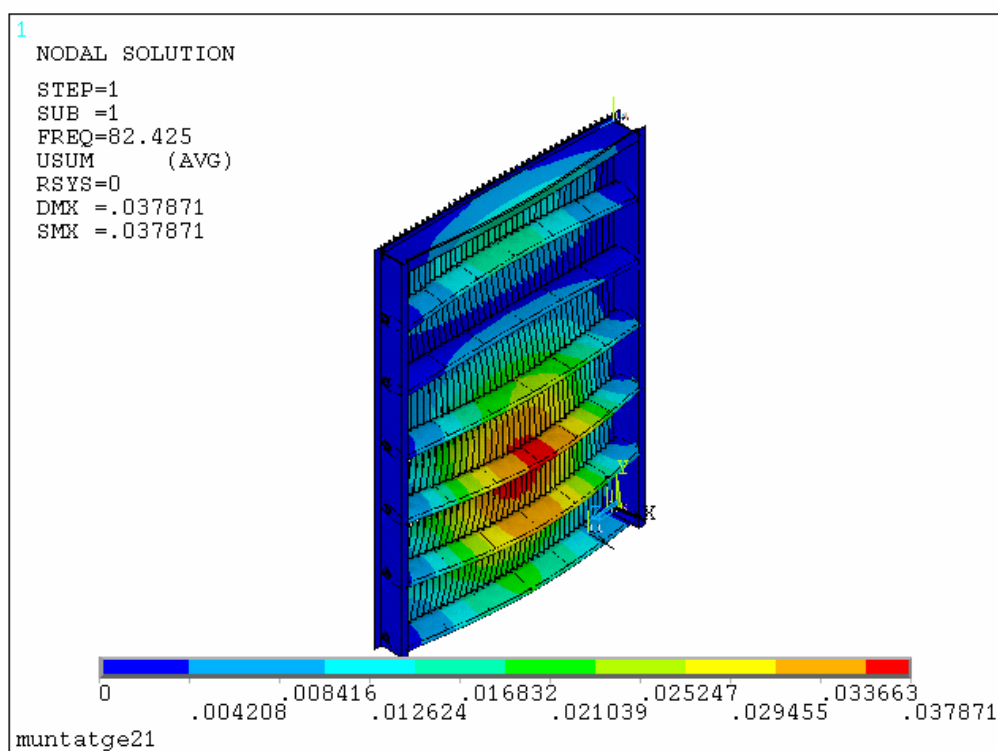


Figura E.7 Mode de vibració a 82.43 Hz



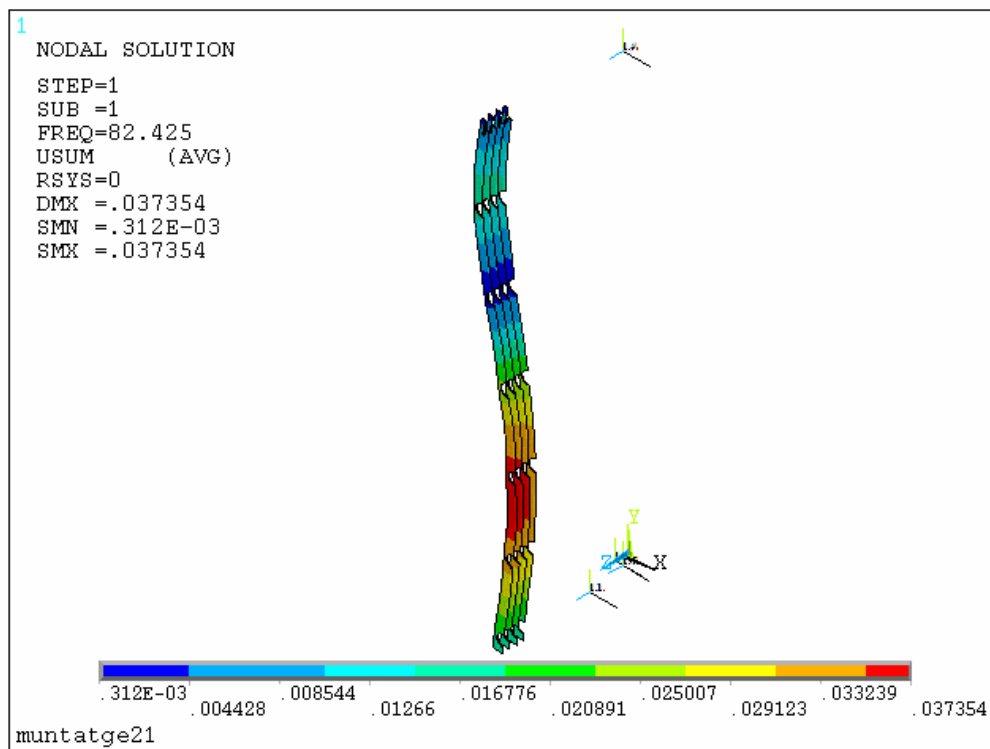


Figura E.8 Mode de vibració a 82.43 Hz

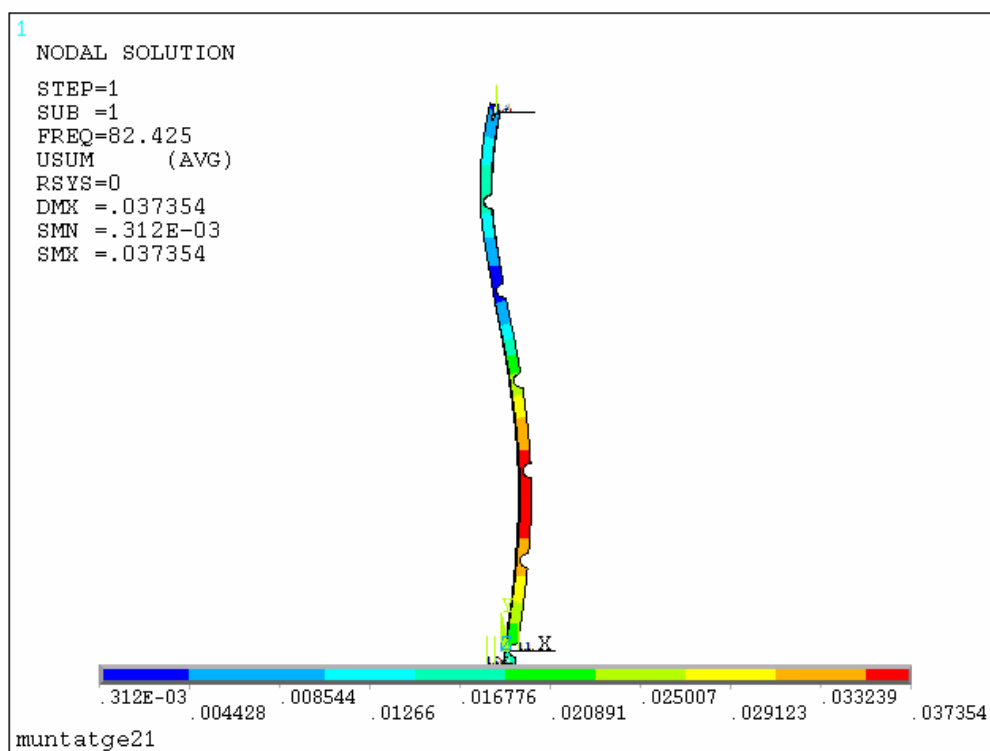


Figura E.9 Mode de vibració a 82.43 Hz



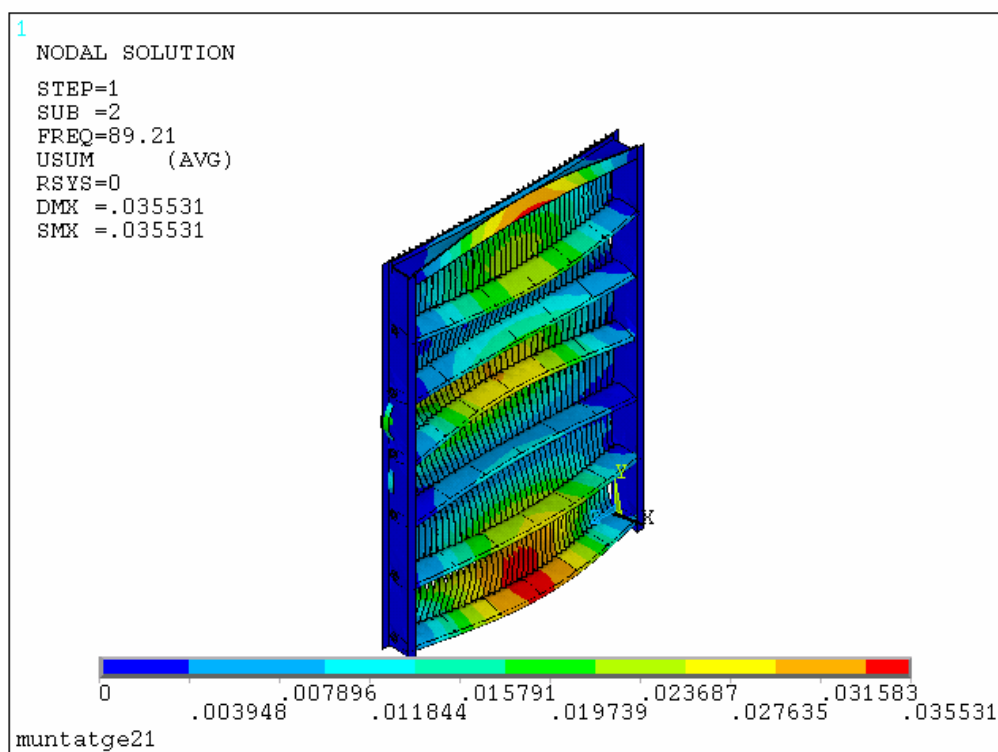


Figura E.10 Mode de vibració a 89.21 Hz

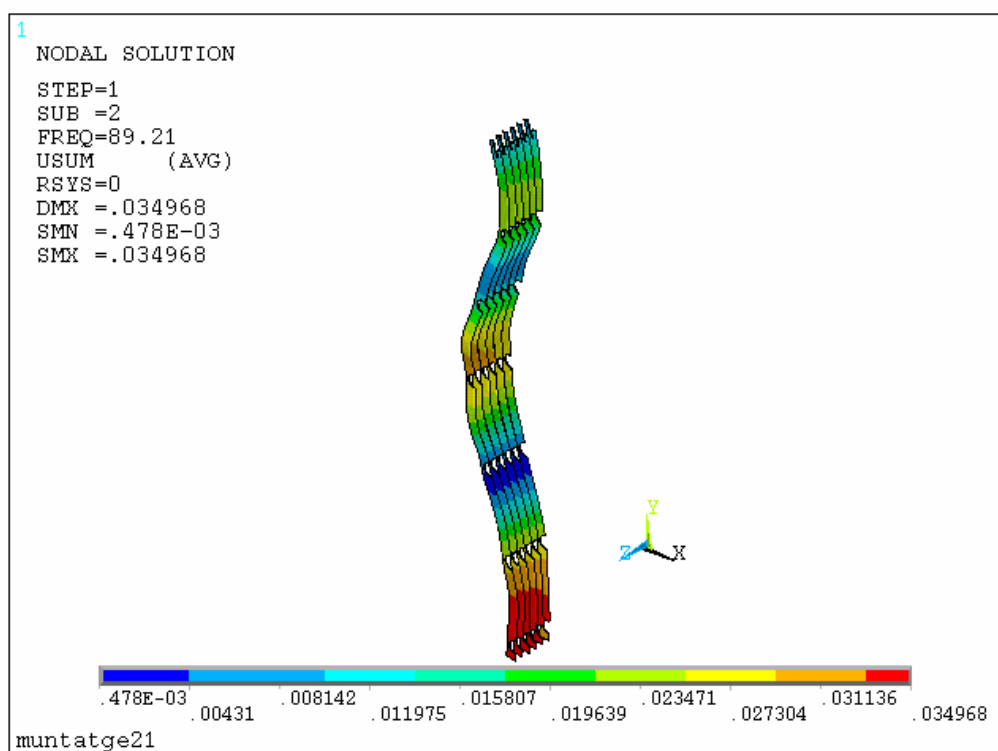


Figura E.11 Mode de vibració a 89.21 Hz



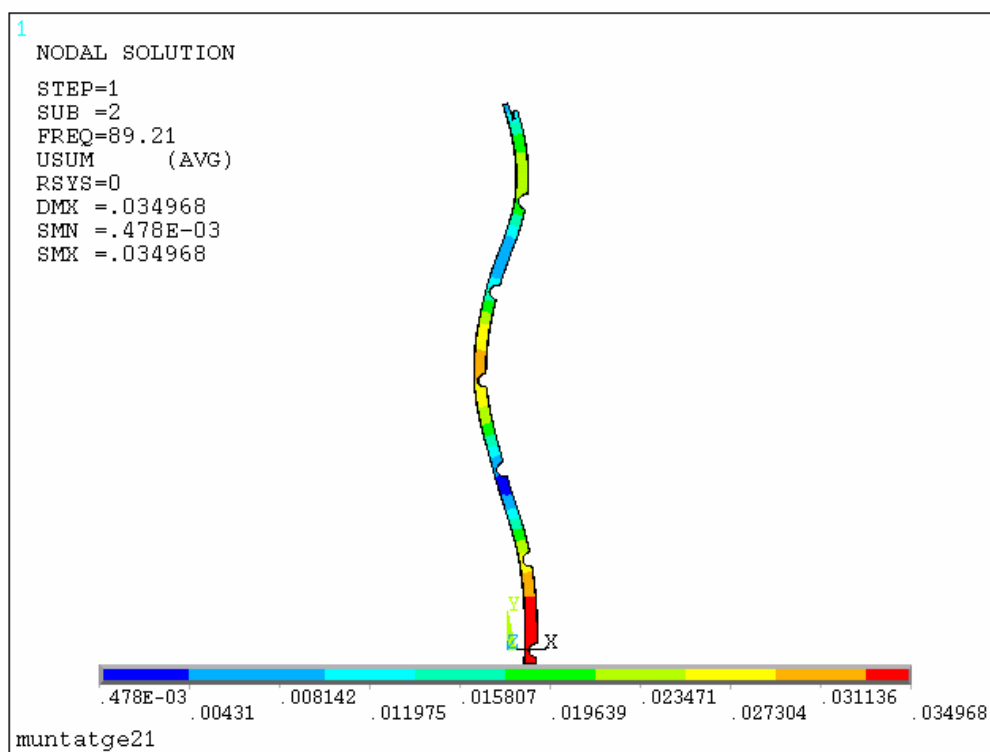


Figura E.12 Mode de vibració a 89.21 Hz

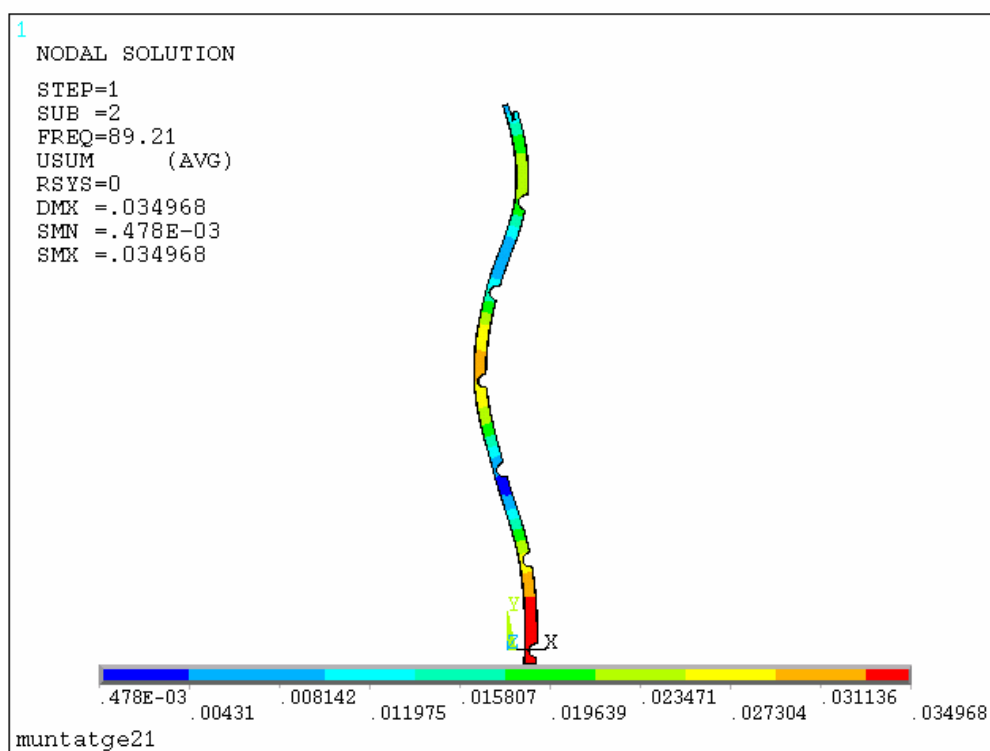


Figura E.13 Mode de vibració a 89.21 Hz



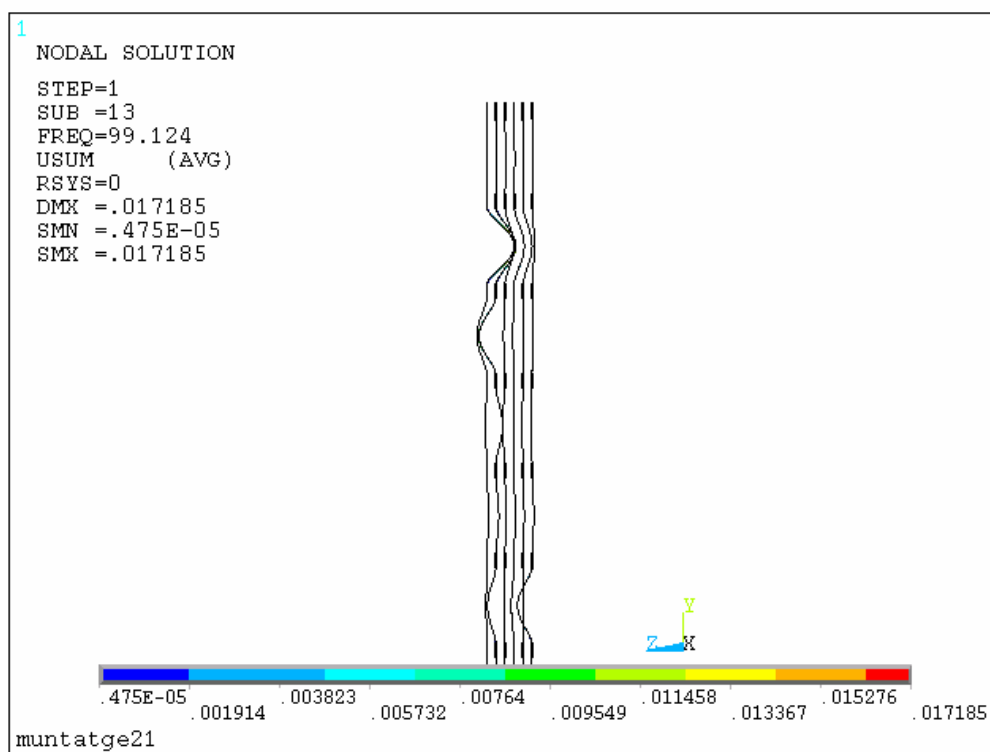


Figura E.14 Mode de vibració a 99.12Hz.

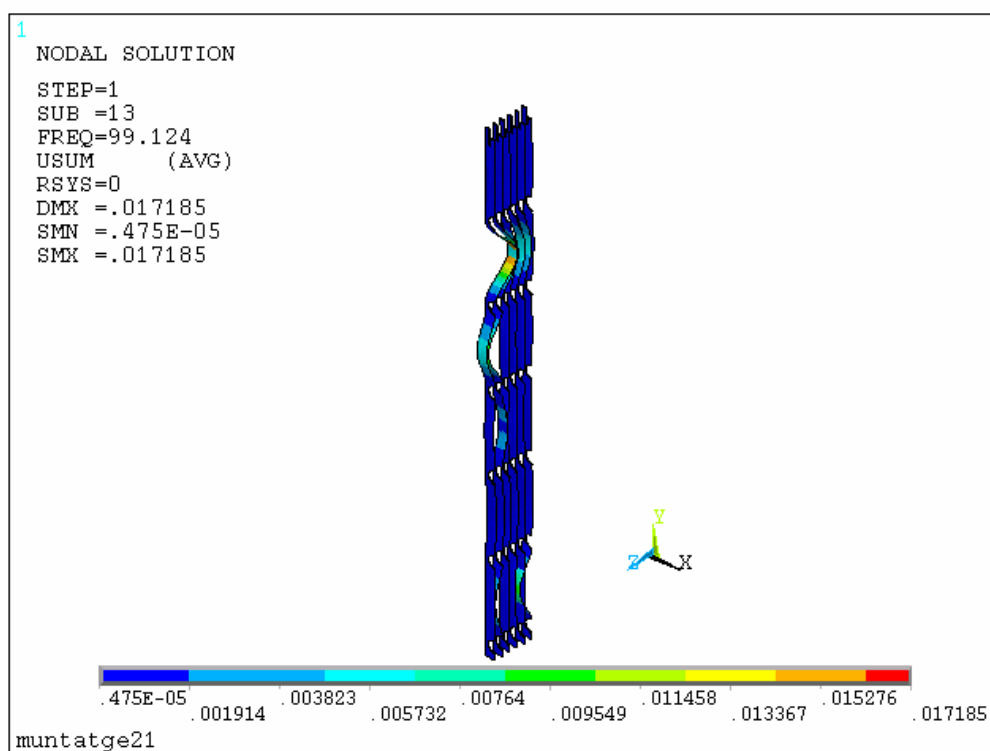


Figura E.15 Mode de vibració a 99.12 Hz.



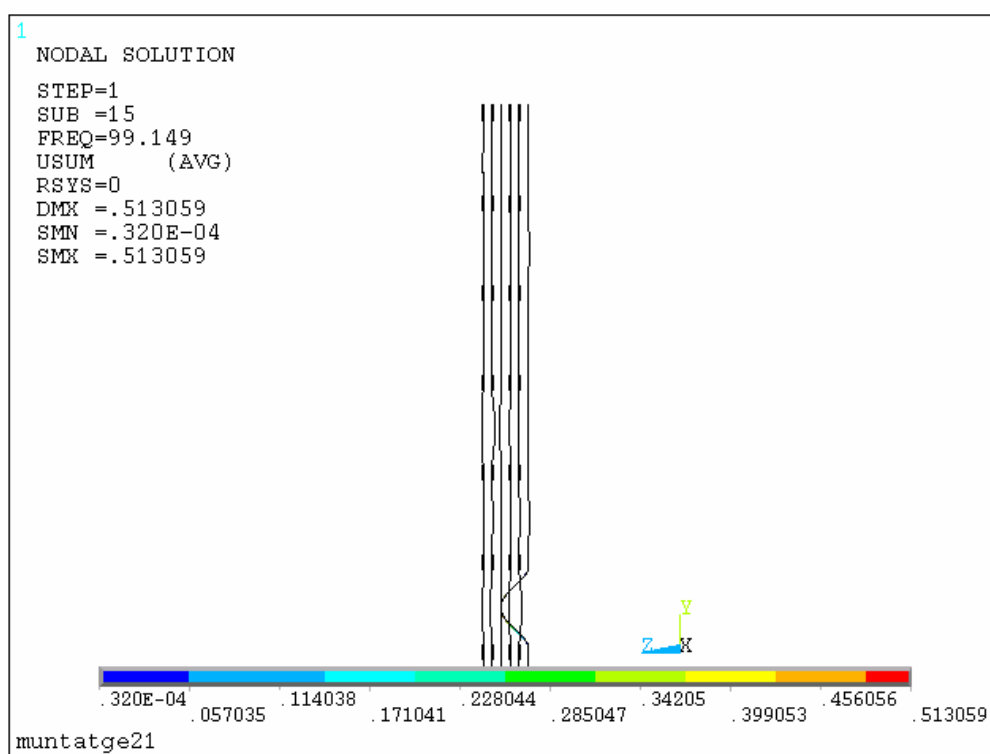


Figura E.16 Mode de vibració a 99.15 Hz.

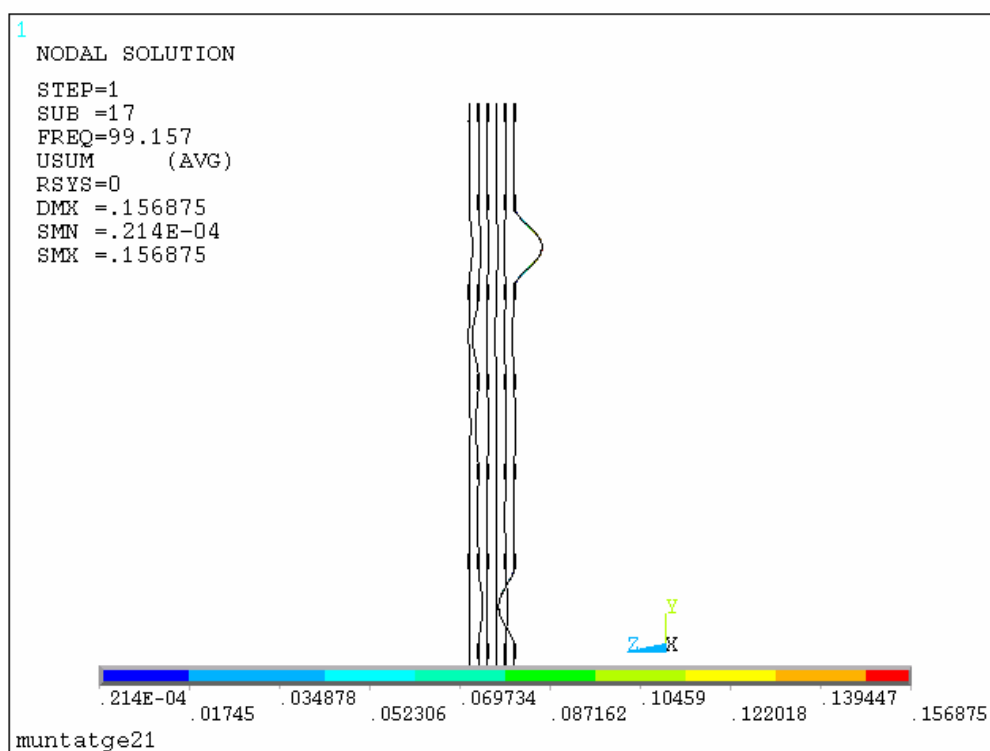


Figura E.17 Mode de vibració a 99.16 Hz.



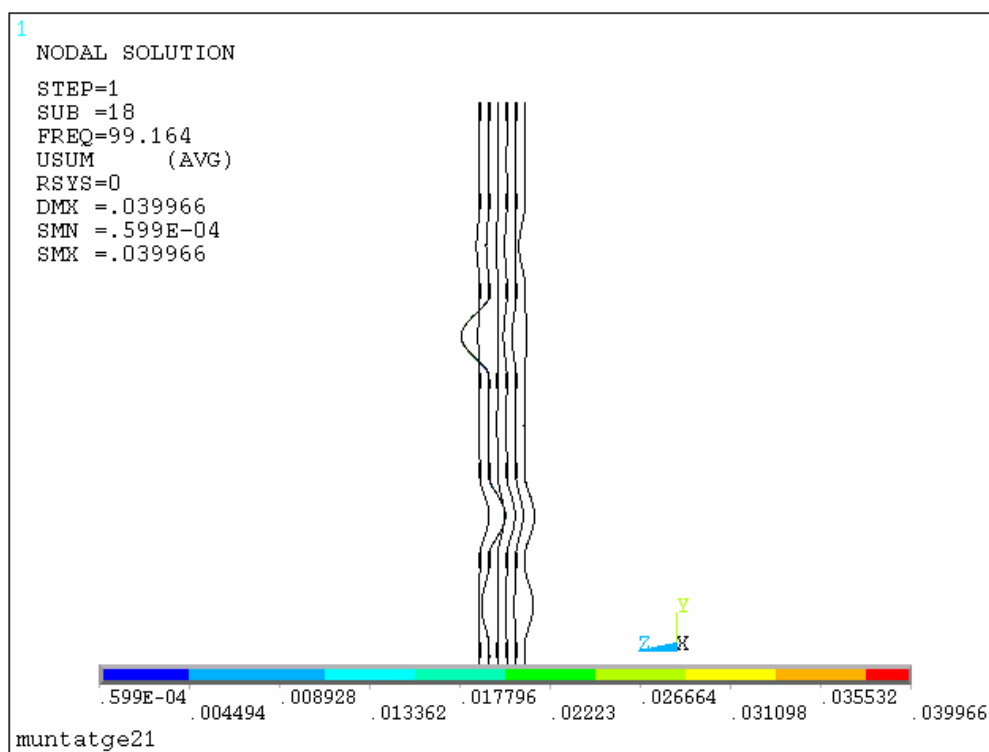


Figura E.18 Mode de vibració a 99.17 Hz.

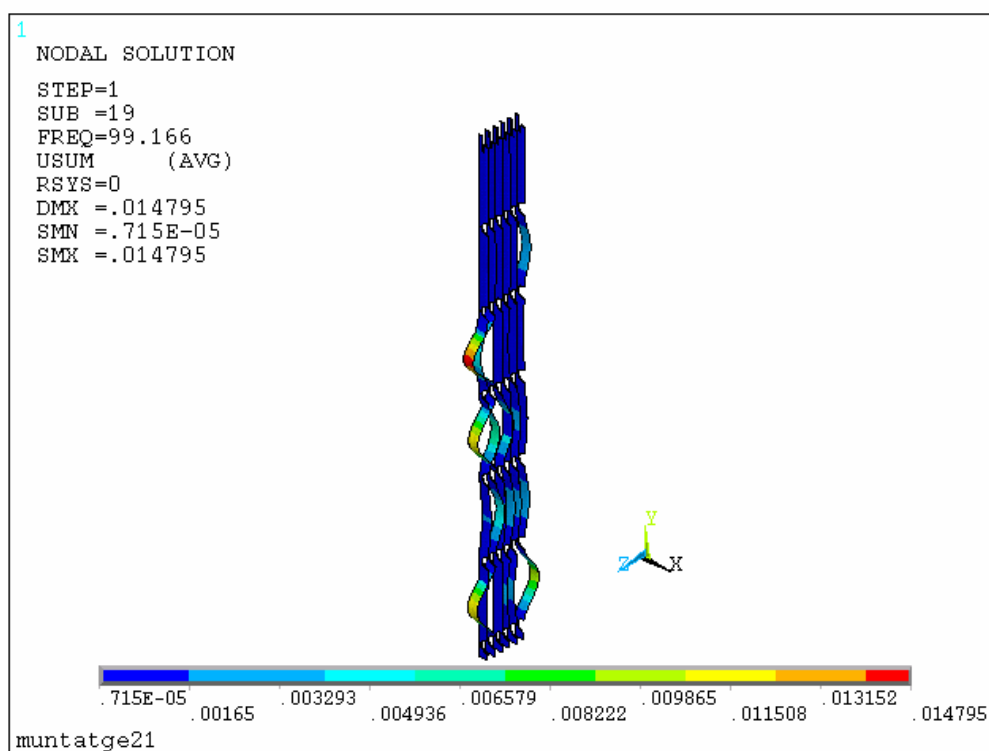


Figura E.19 Mode de vibració a 99.17 Hz.



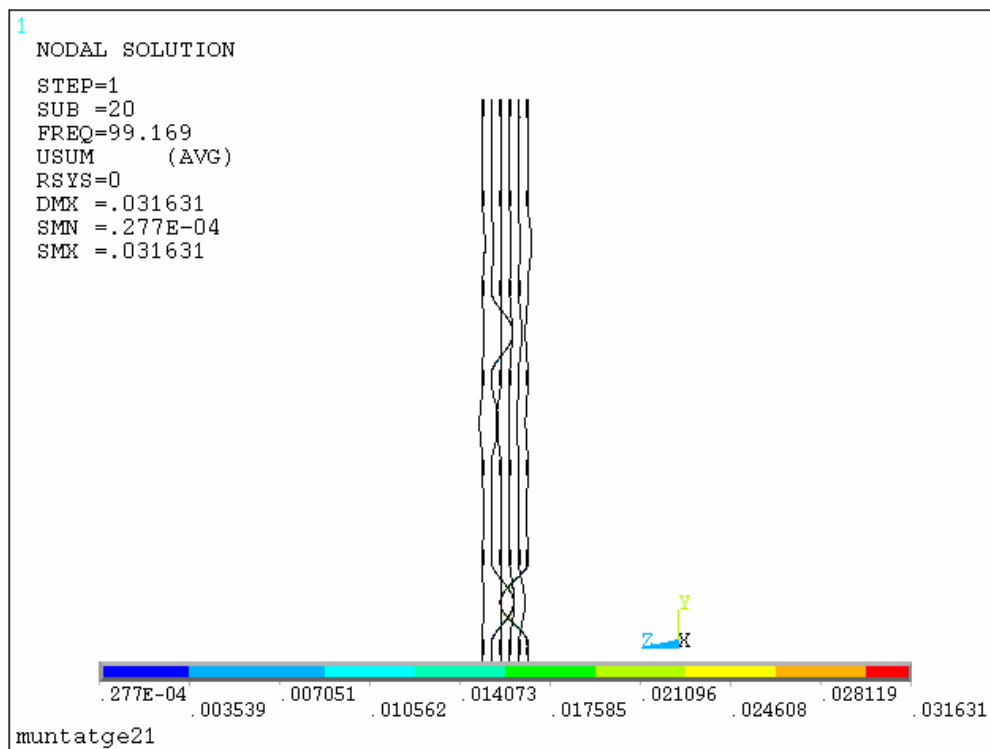


Figura E.20 Mode de vibració a 99.17 Hz.

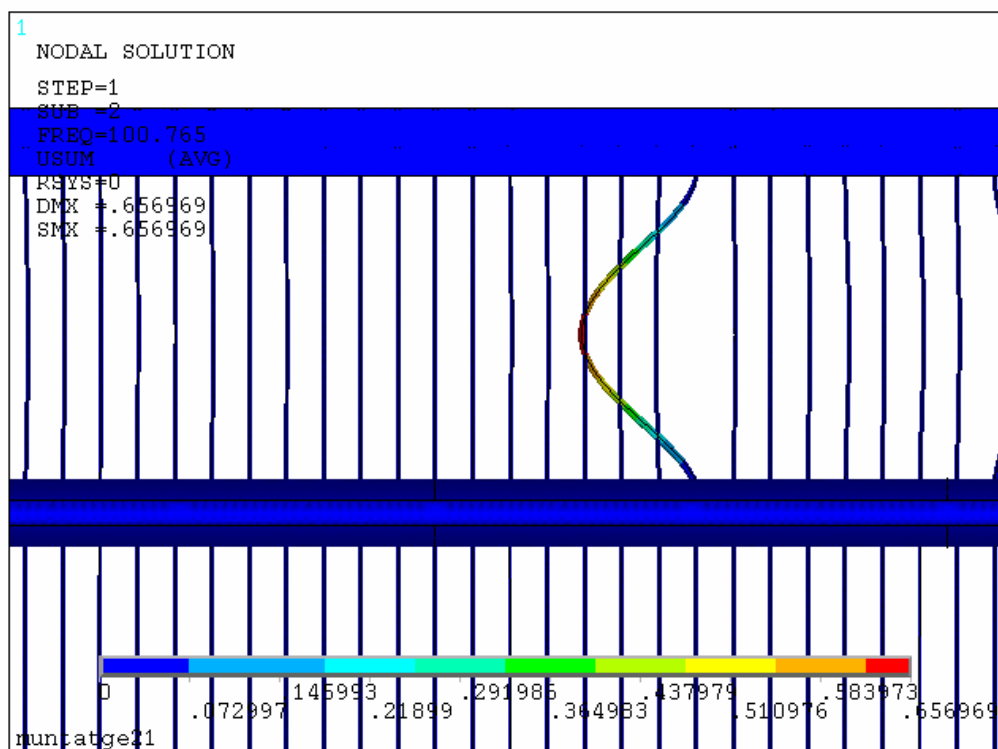


Figura E.21 Mode de vibració a 100.77 Hz.



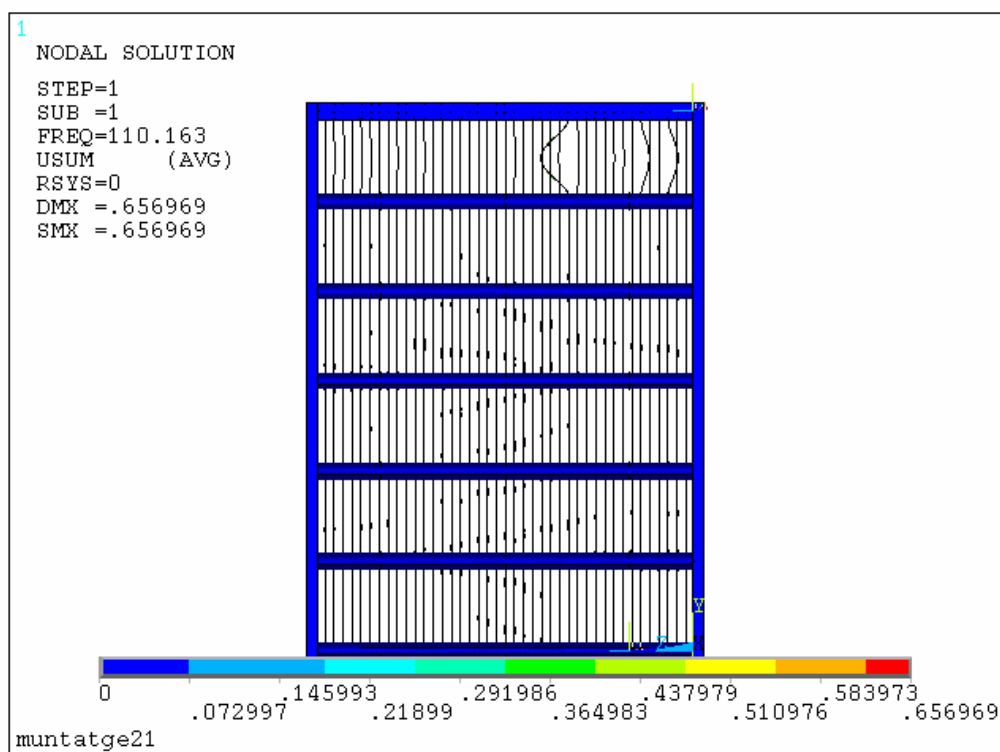


Figura E.22 Mode de vibració a 110.16 Hz.

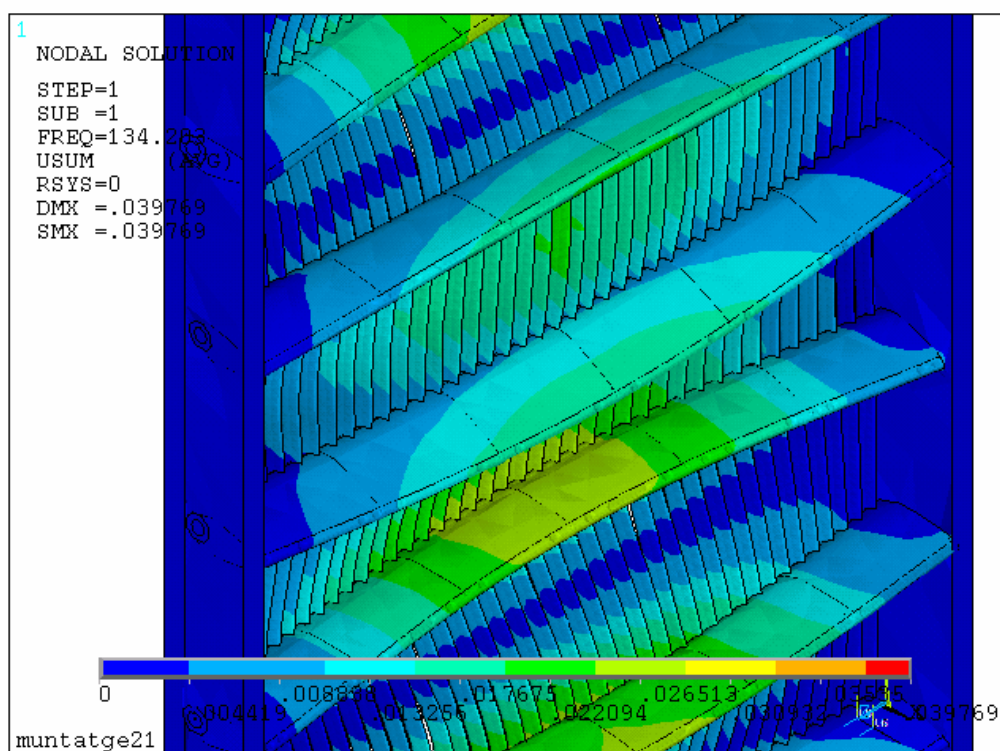


Figura E.23 Mode de vibració a 134.20 Hz.



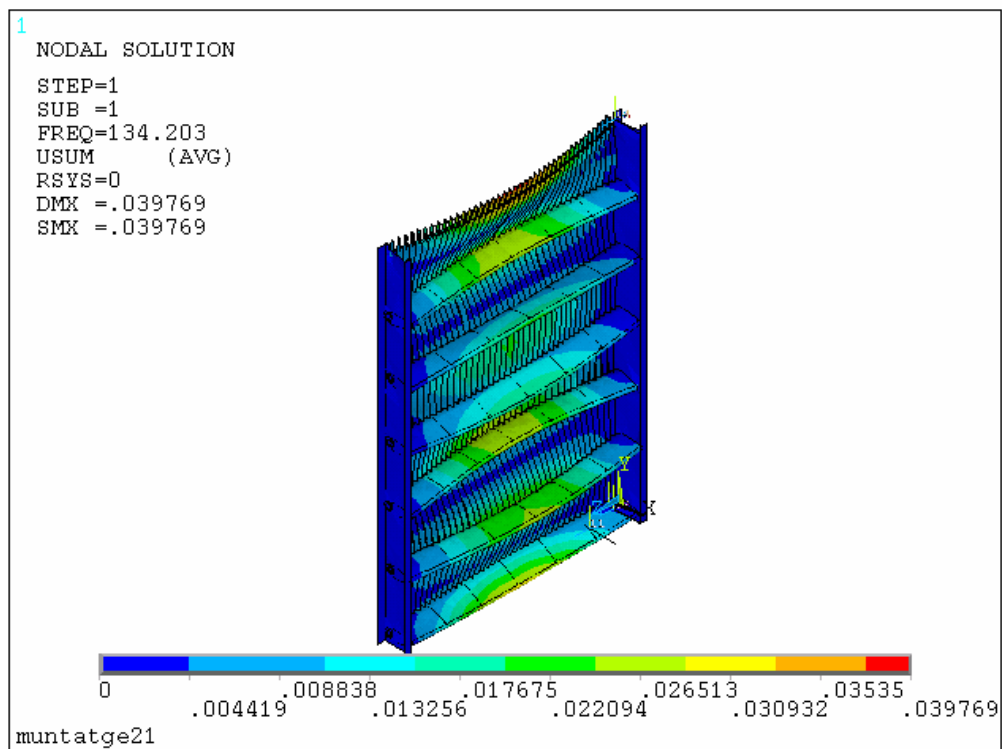


Figura E.24 Mode de vibració a 134.20 Hz.

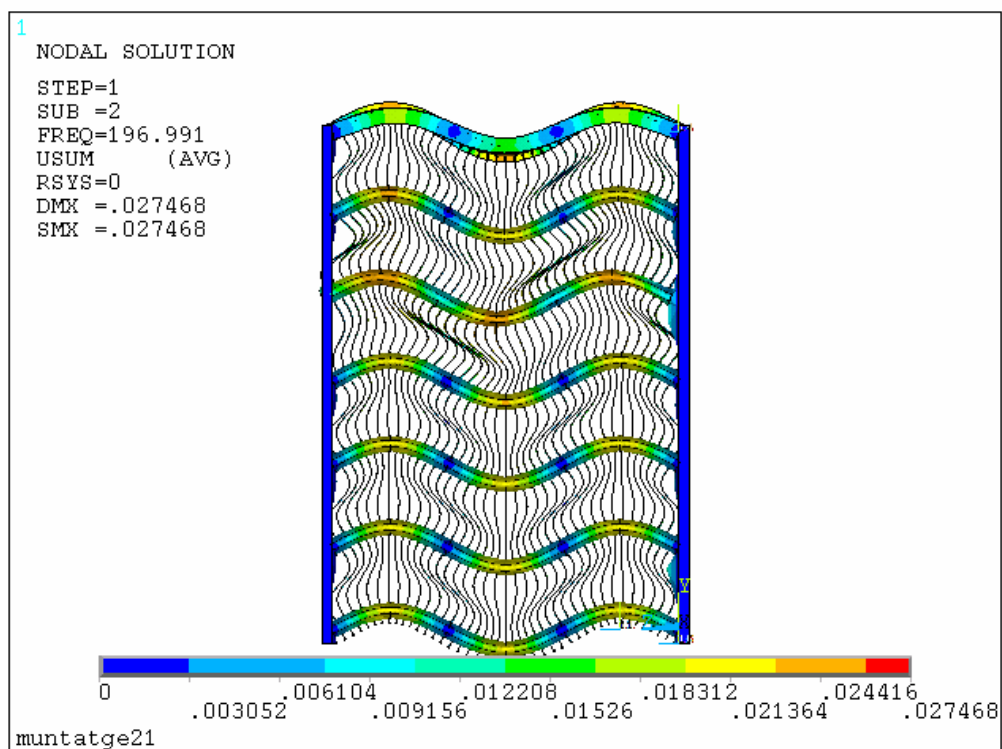


Figura E.25 Mode de vibració a 196.99 Hz.



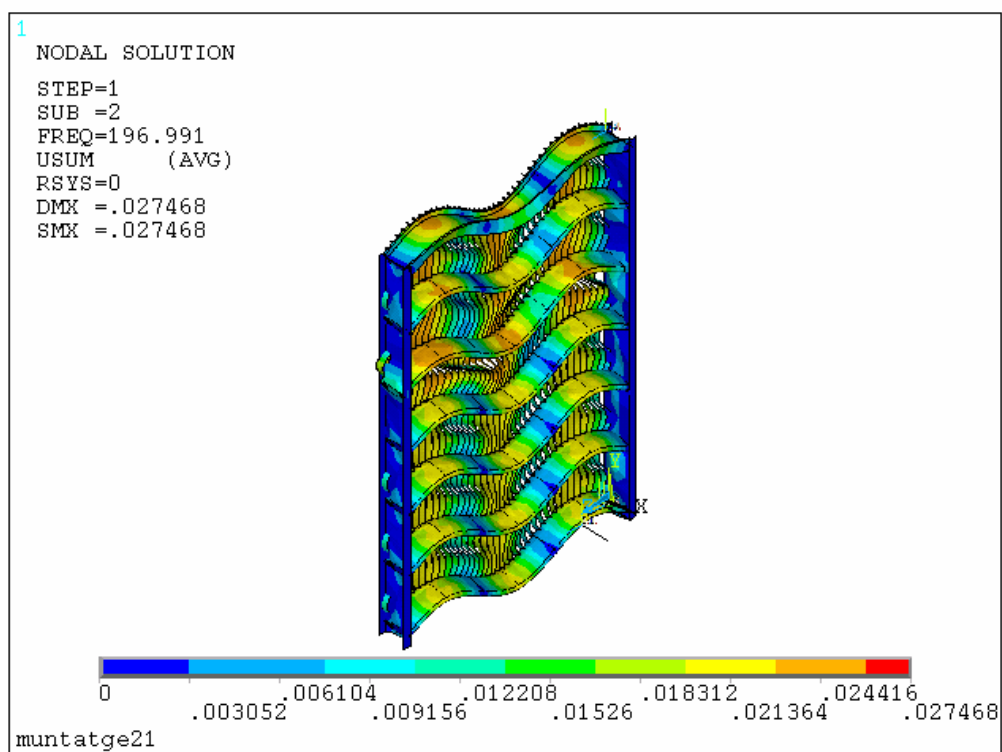


Figura E.26 Mode de vibració a 196.99 Hz.

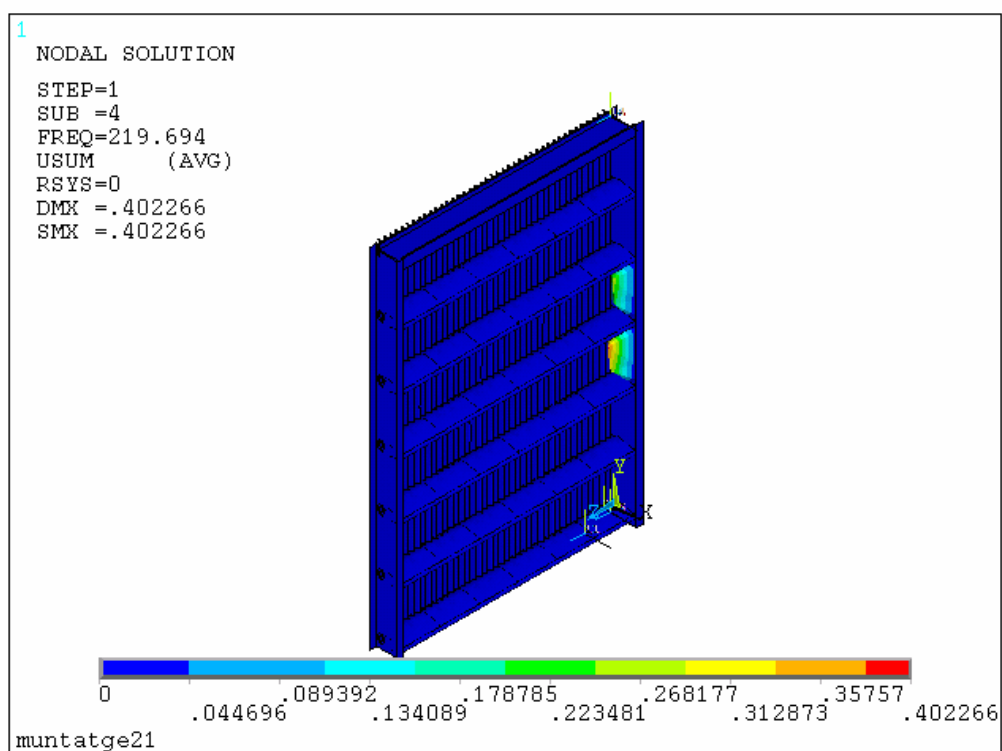


Figura E.27 Mode de vibració a 219.69 Hz.



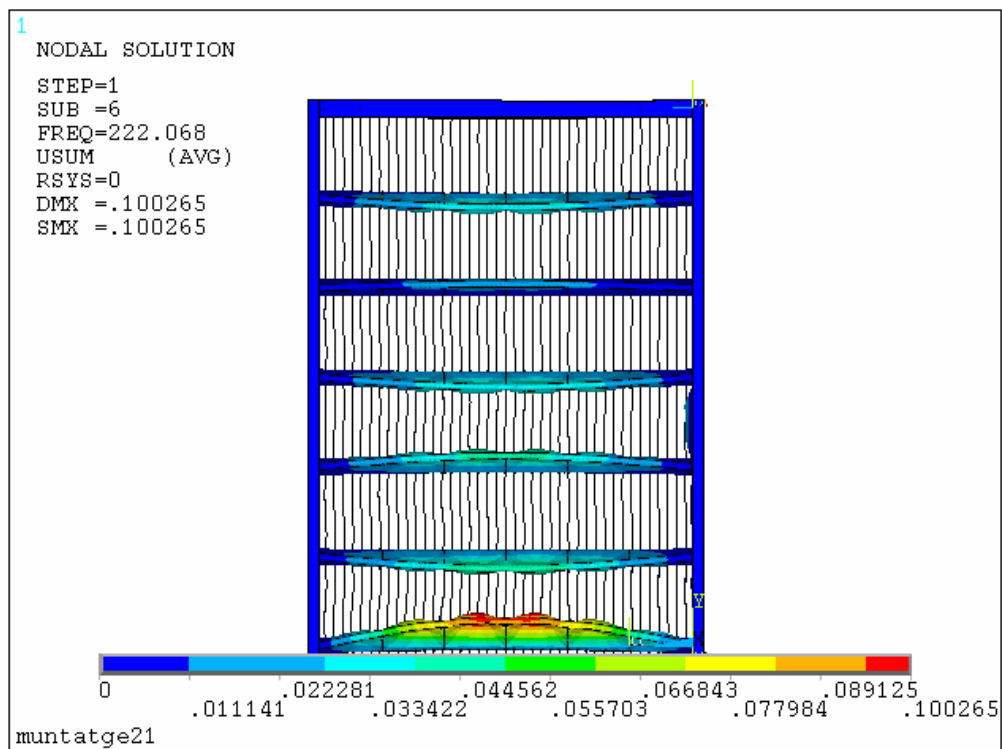


Figura E.28 Mode de vibració a 222.07 Hz.

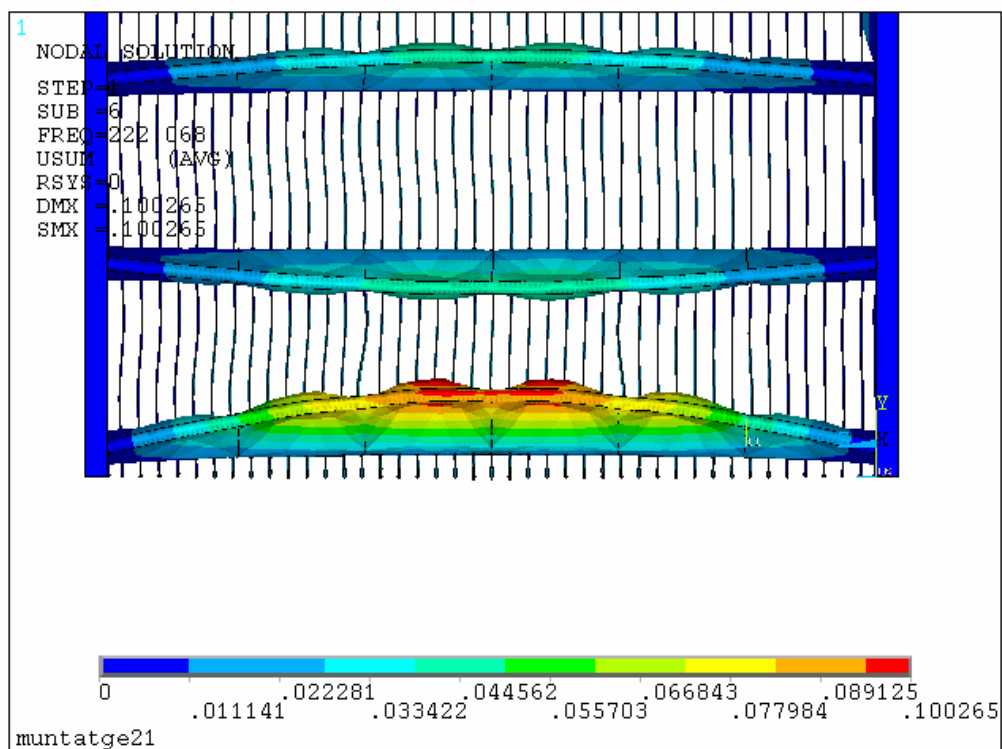


Figura E.29 Mode de vibració a 222.07 Hz.



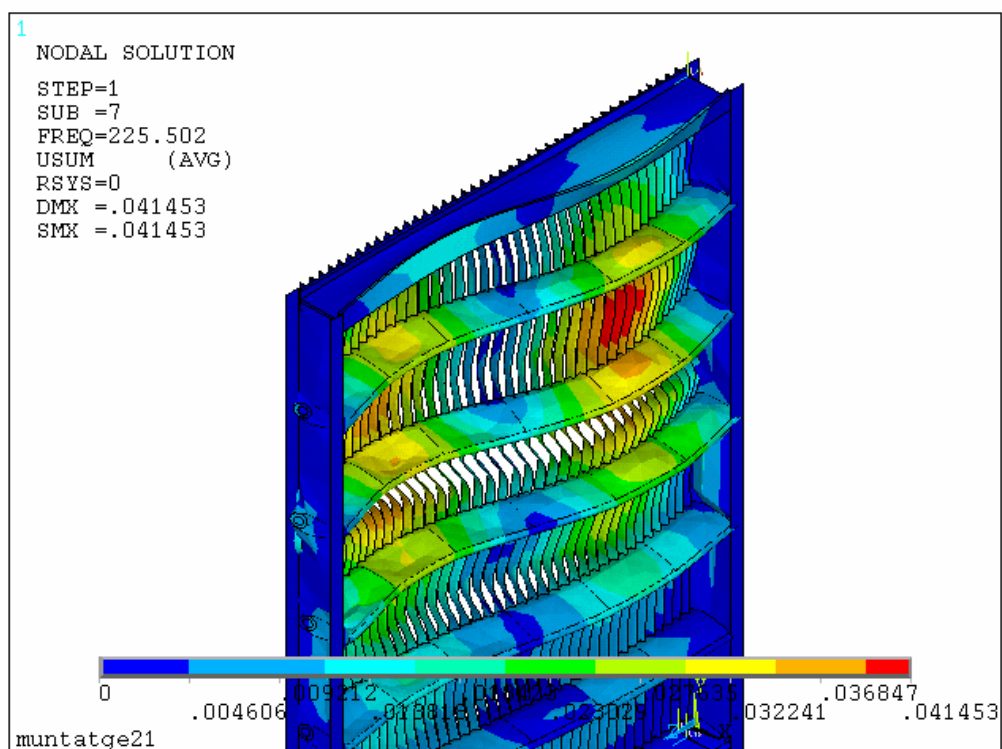


Figura E.30 Mode de vibració a 225.50 Hz.

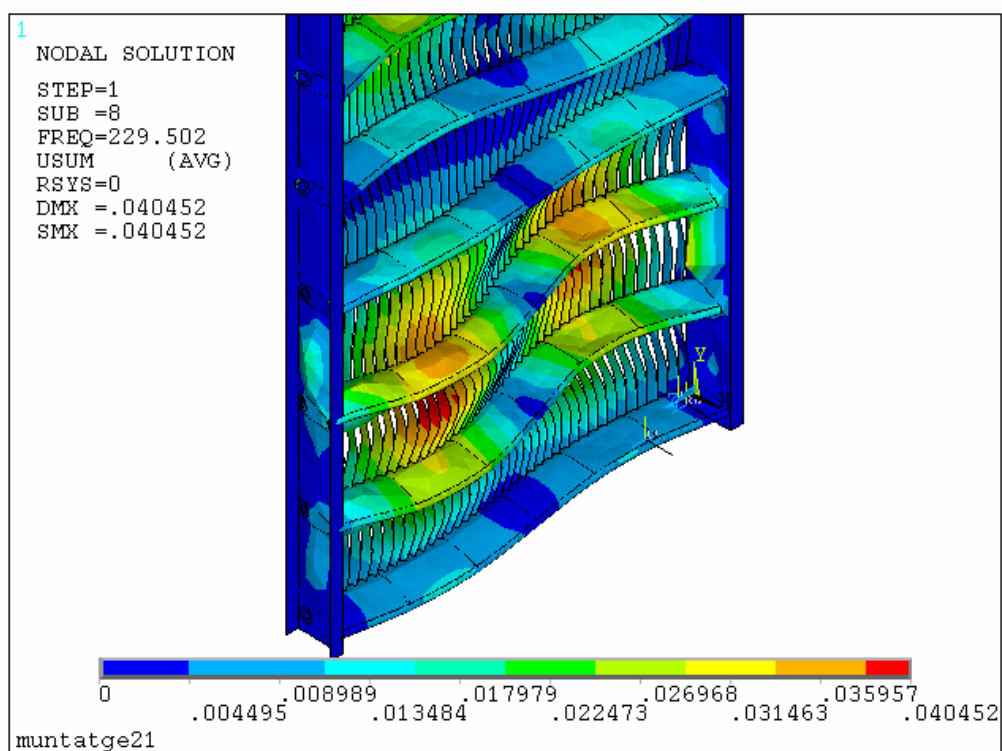


Figura E.31 Mode de vibració a 229.50 Hz.



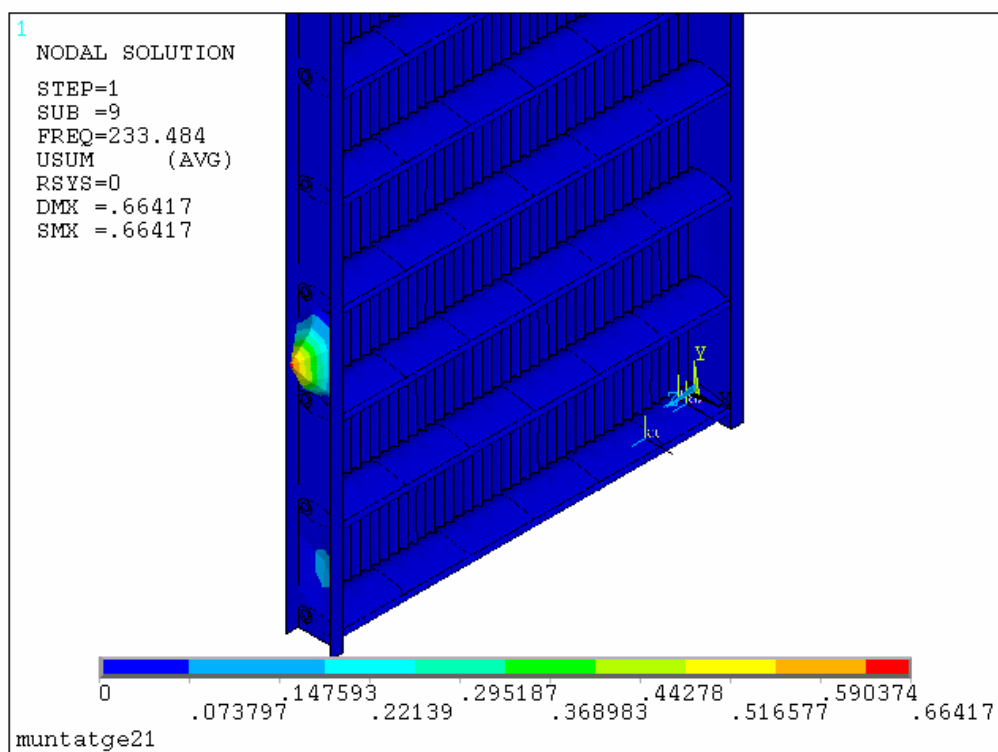


Figura E.32 Mode de vibració a 233.48 Hz.

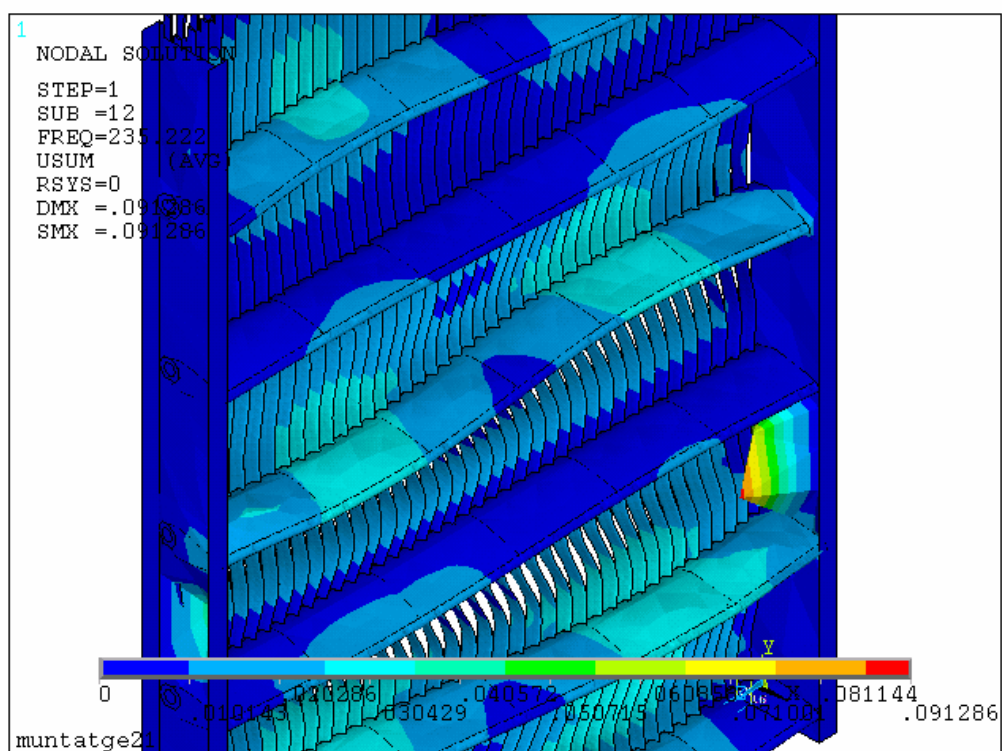


Figura E.33 Mode de vibració a 235.22 Hz.



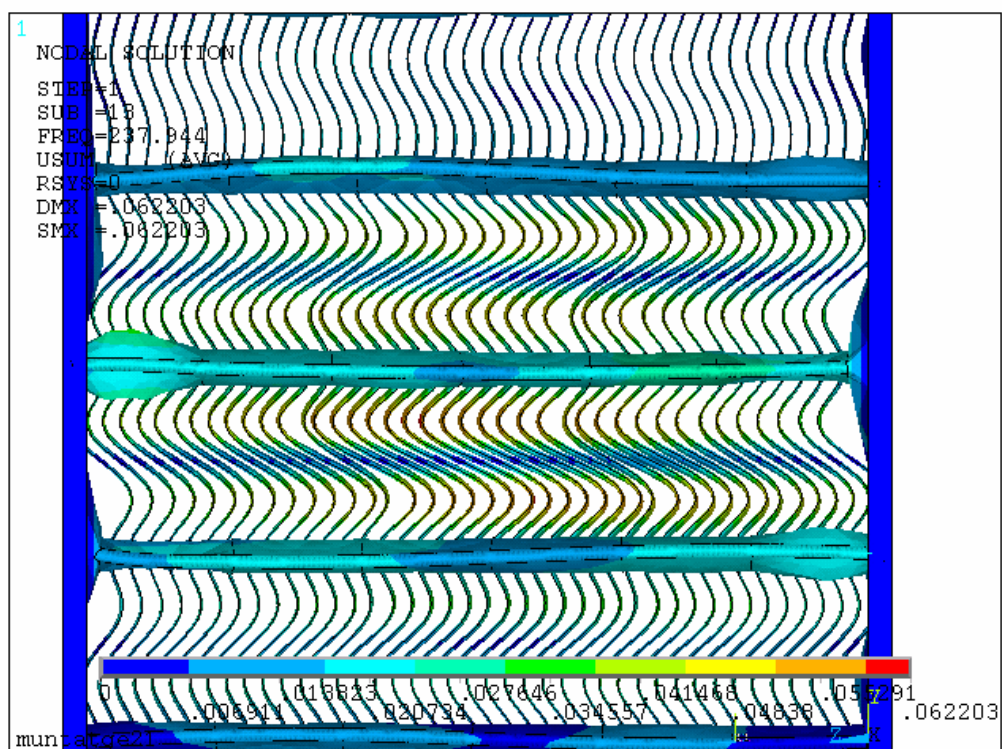


Figura E.34 Mode de vibració a 237.94 Hz.

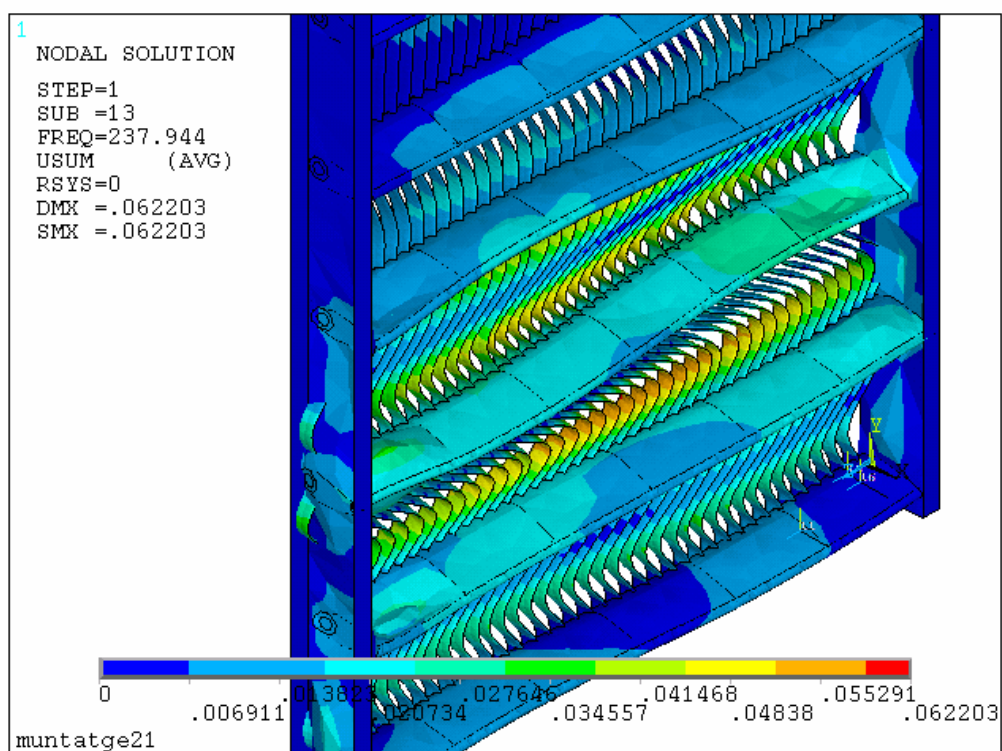


Figura E.35 Mode de vibració a 237.94 Hz.



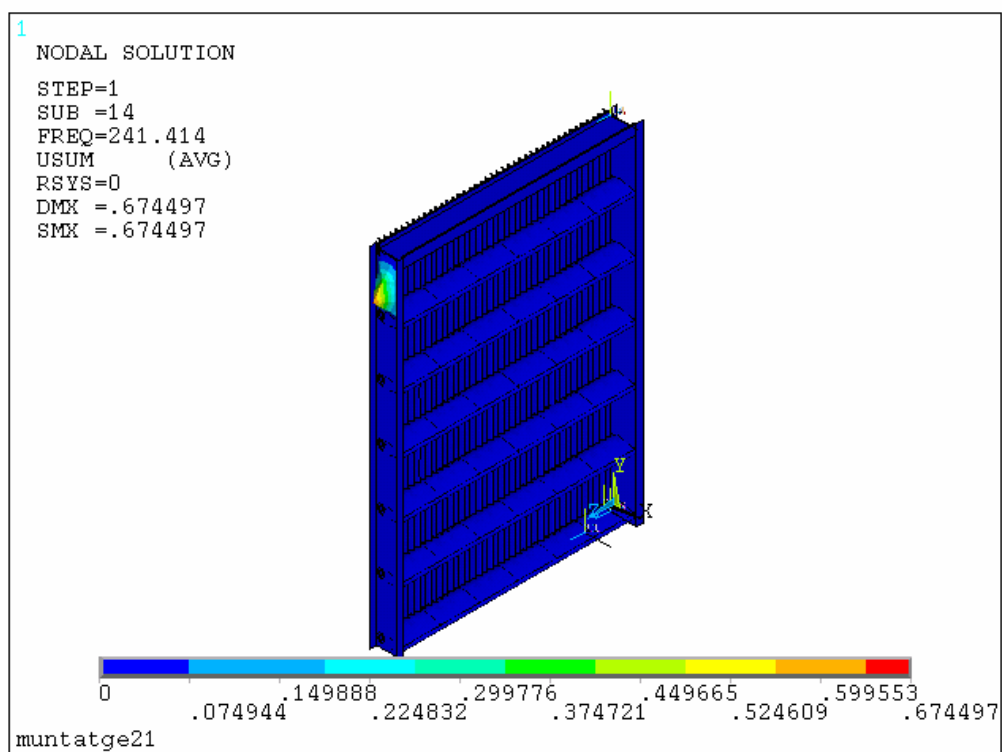


Figura E.36 Mode de vibració a 241.41 Hz.

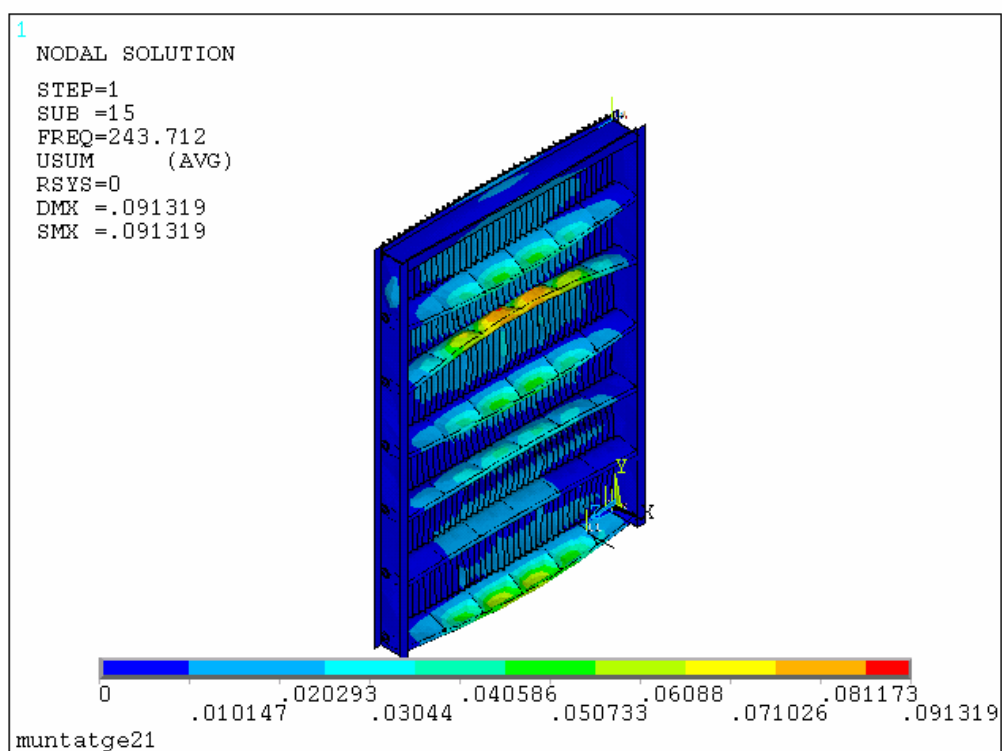


Figura E.37 Mode de vibració a 243.71 Hz.



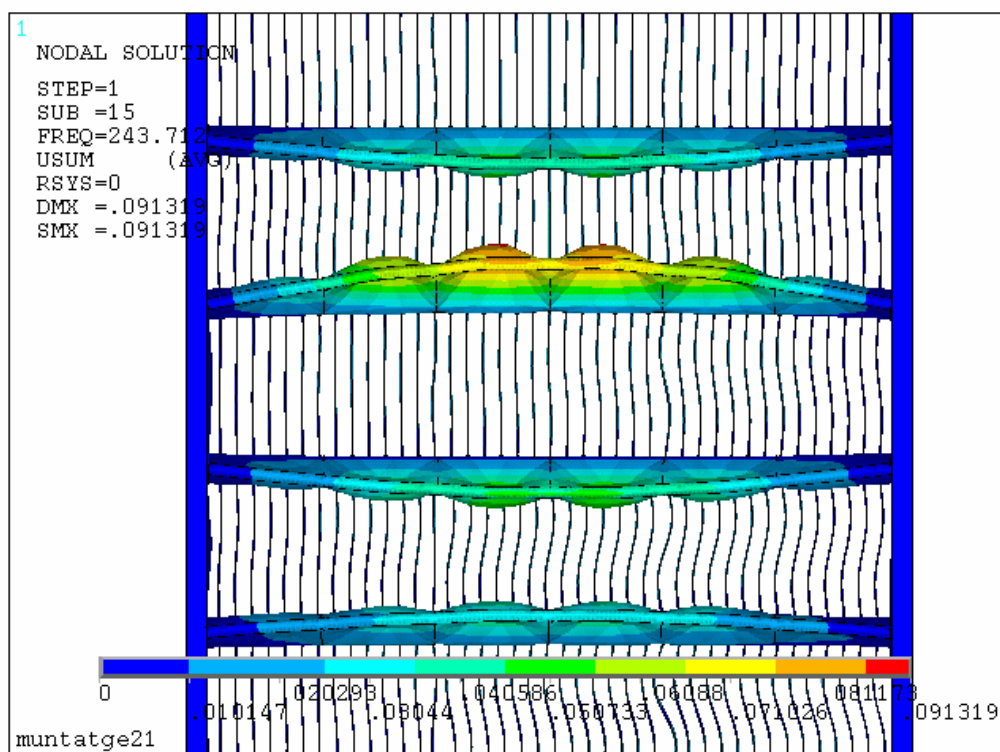


Figura E.38 Mode de vibració a 243.71 Hz.

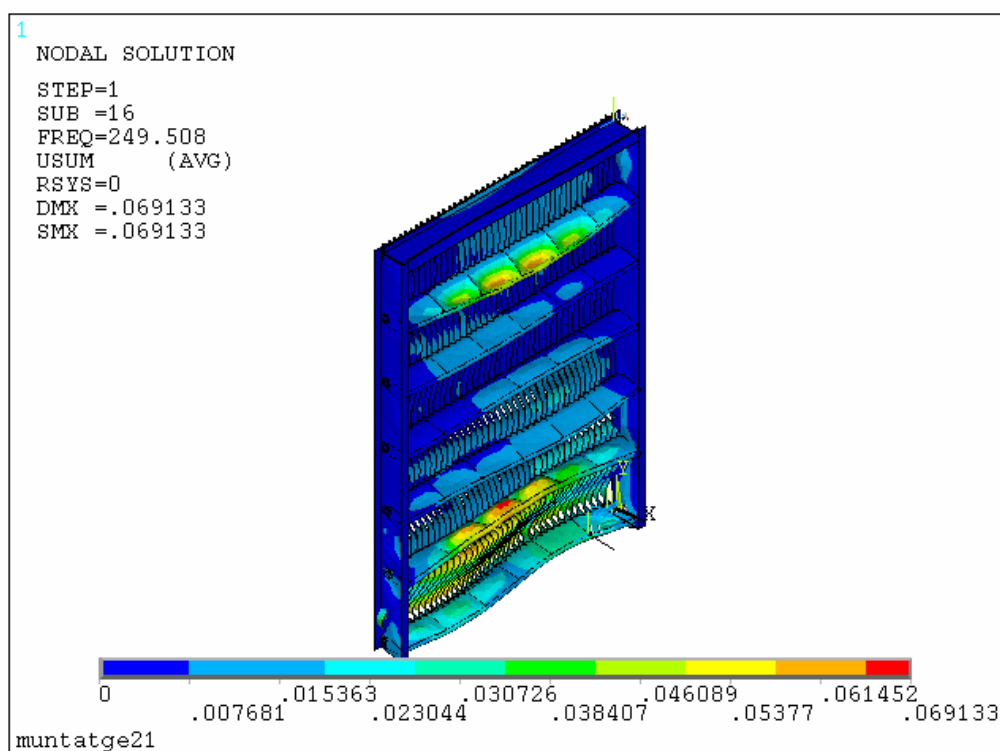


Figura E.39 Mode de vibració a 249.51 Hz.



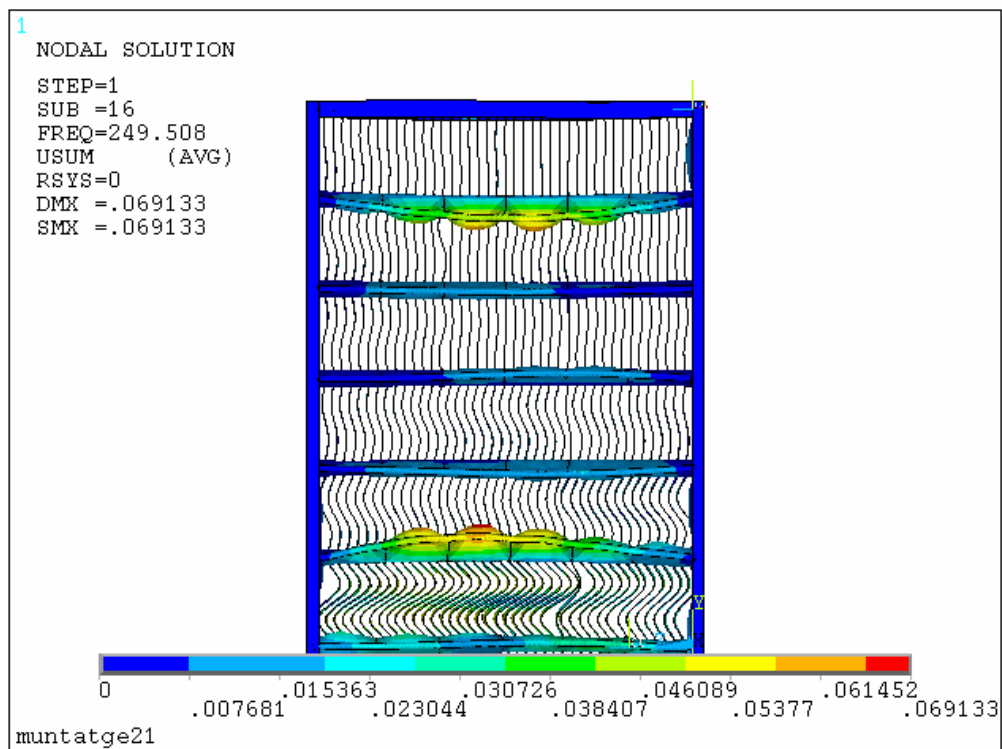


Figura E.40 Mode de vibració a 249.51 Hz.

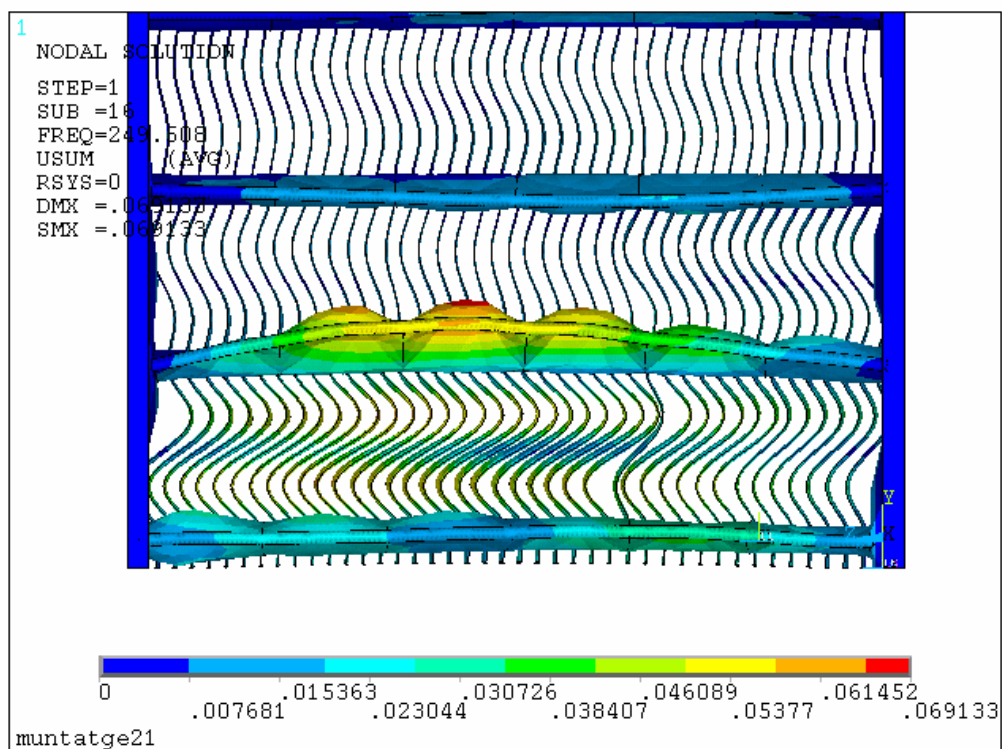


Figura E.41 Mode de vibració a 249.51 Hz.



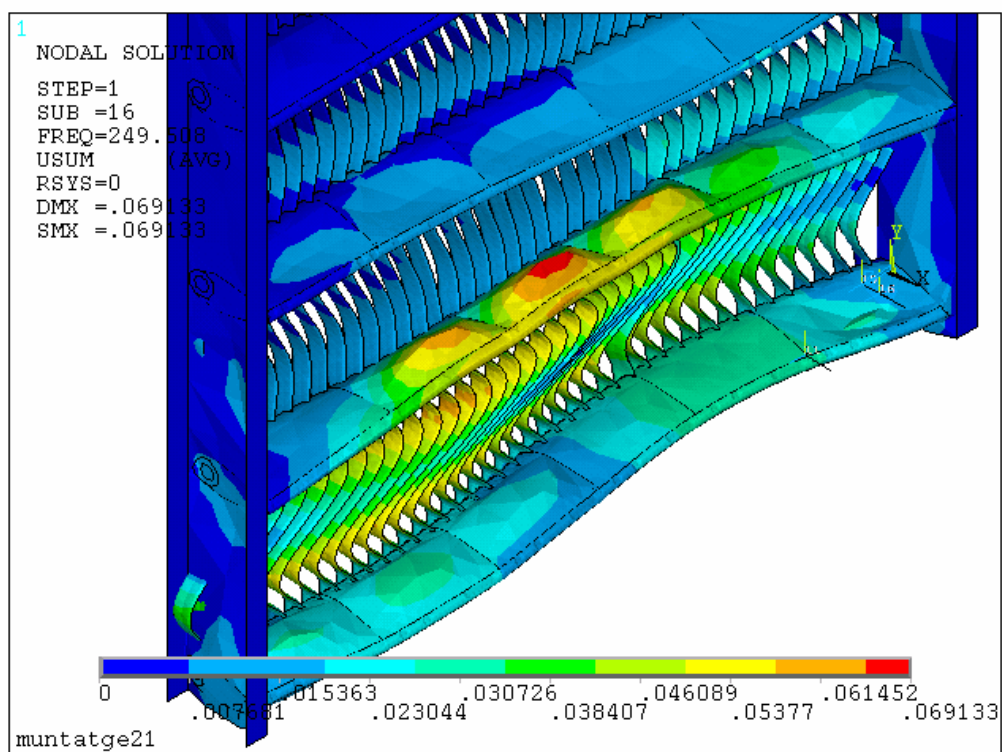


Figura E.42 Mode de vibració a 249.51 Hz.

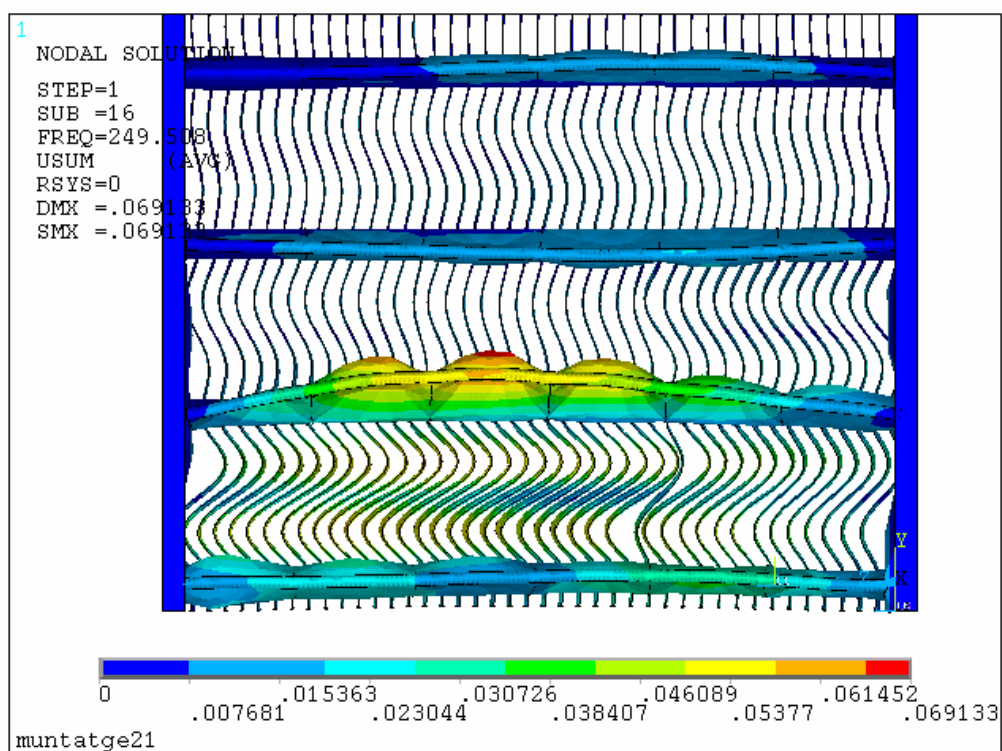


Figura E.43 Mode de vibració a 249.51 Hz.



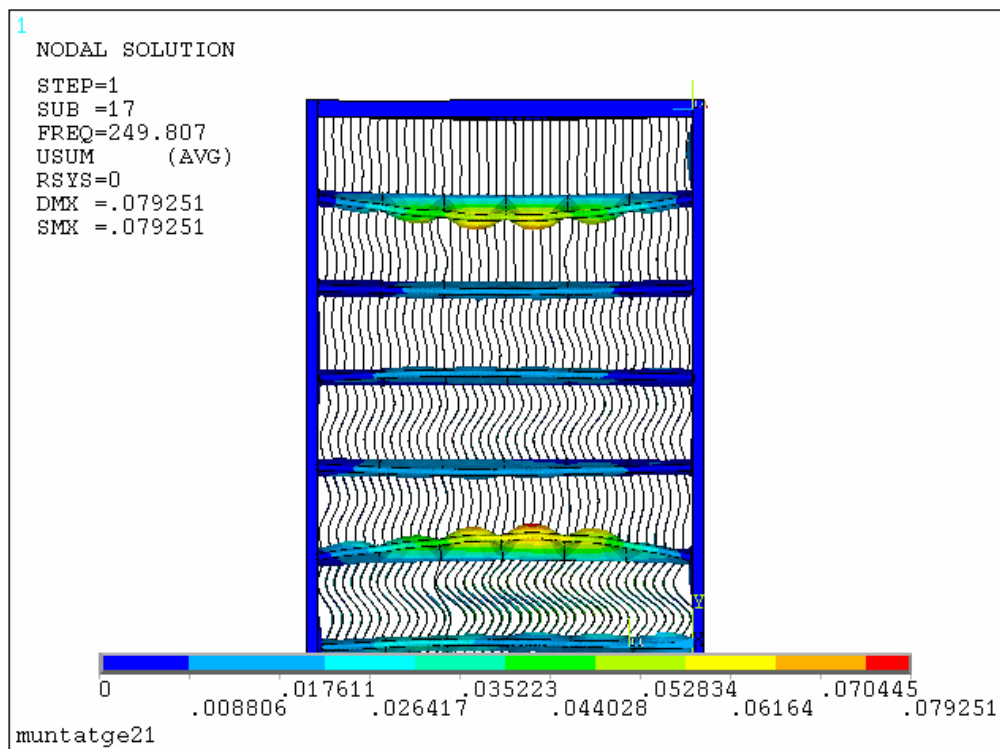


Figura E.44 Mode de vibració a 249.81 Hz.

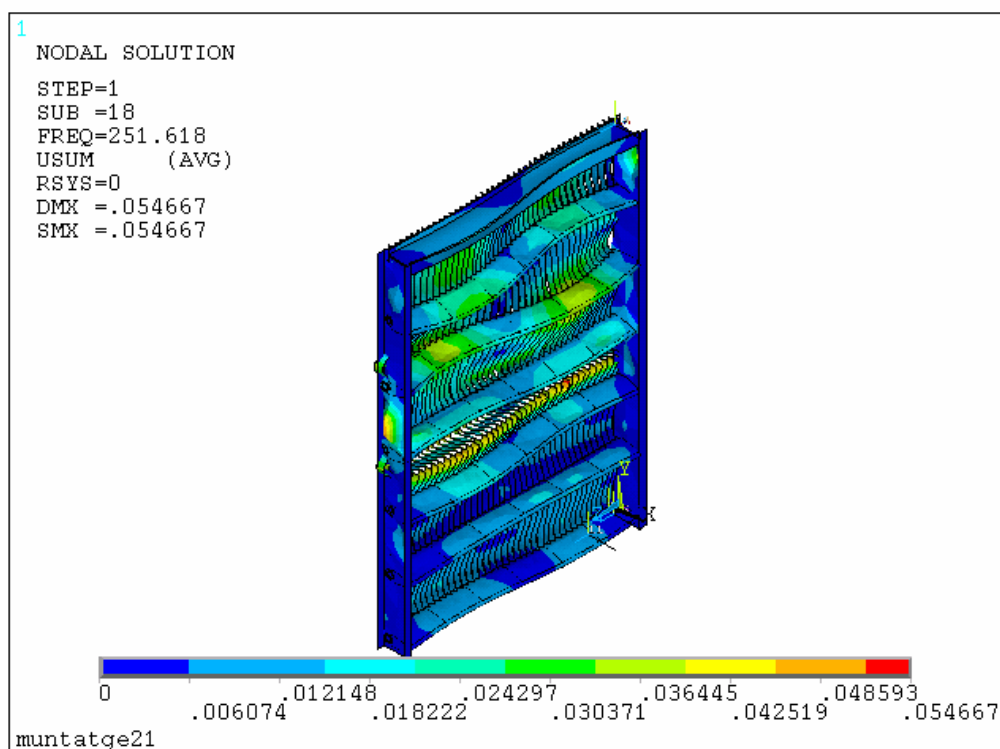


Figura E.45 Mode de vibració a 251.62 Hz.



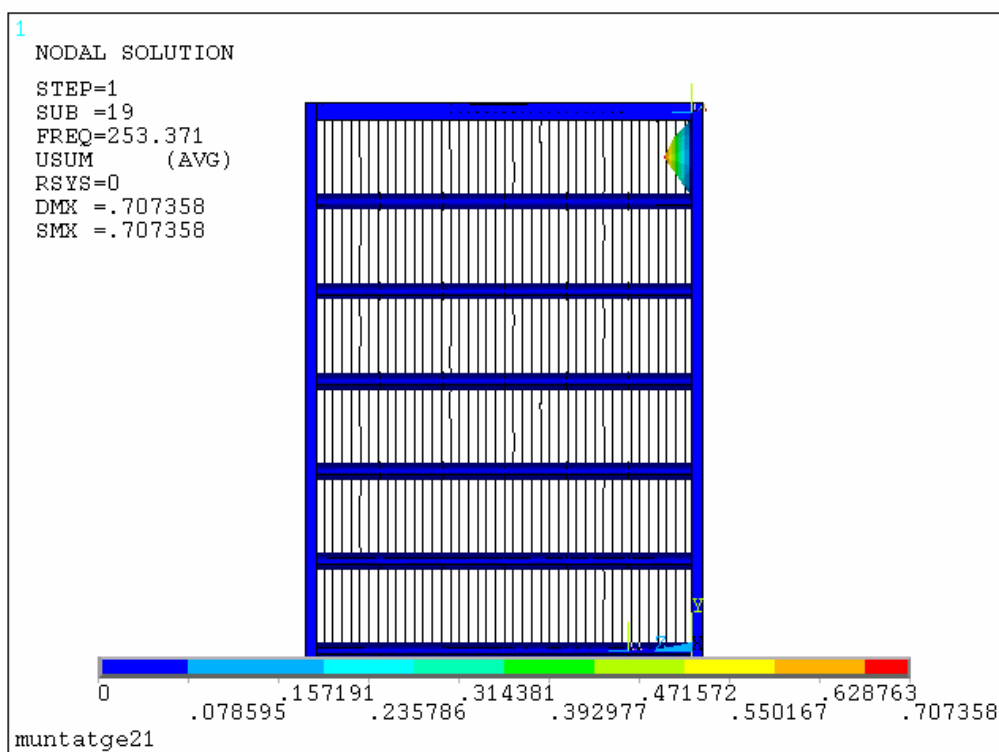


Figura E.46 Mode de vibració a 253.37 Hz.

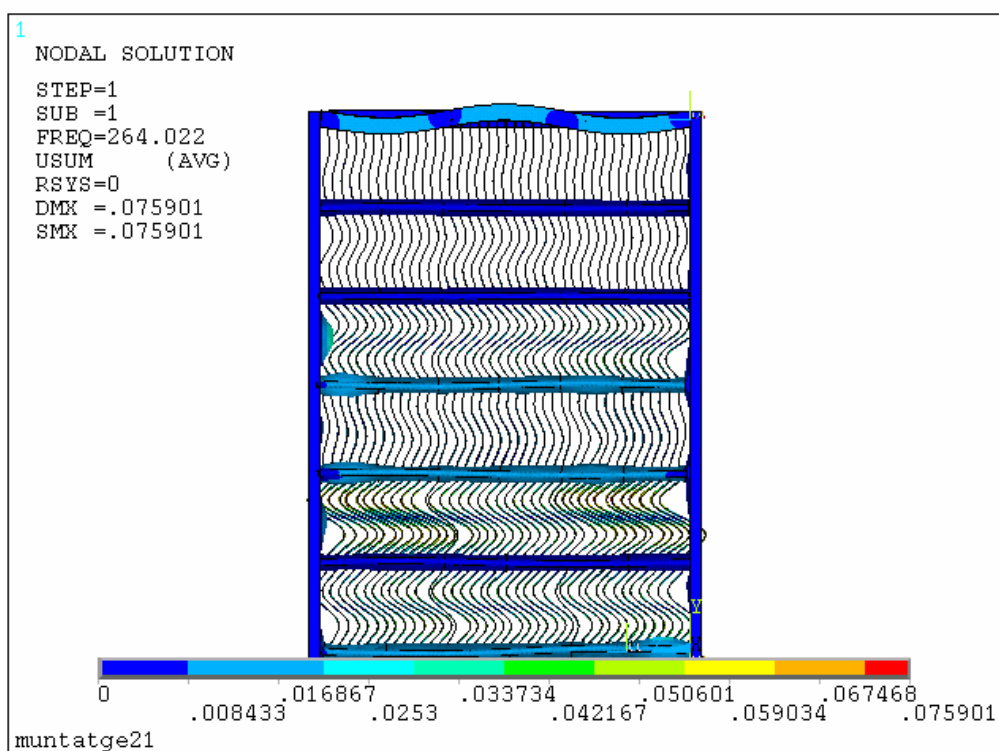


Figura E.47 Mode de vibració a 264.02 Hz.



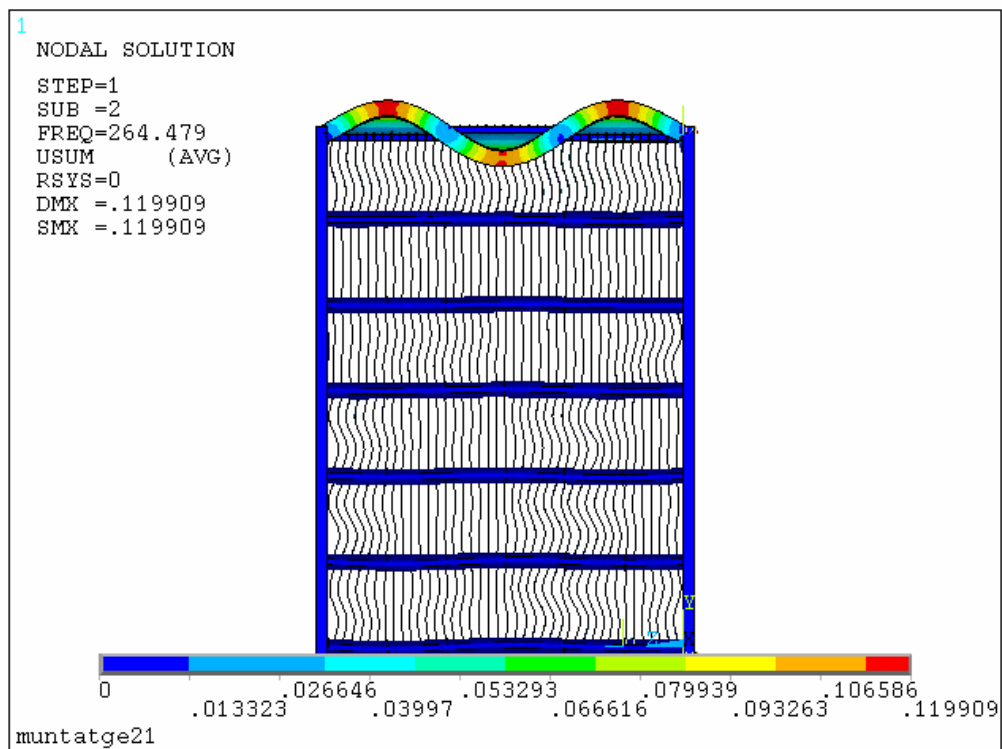


Figura E.48 Mode de vibració a 264.48 Hz.

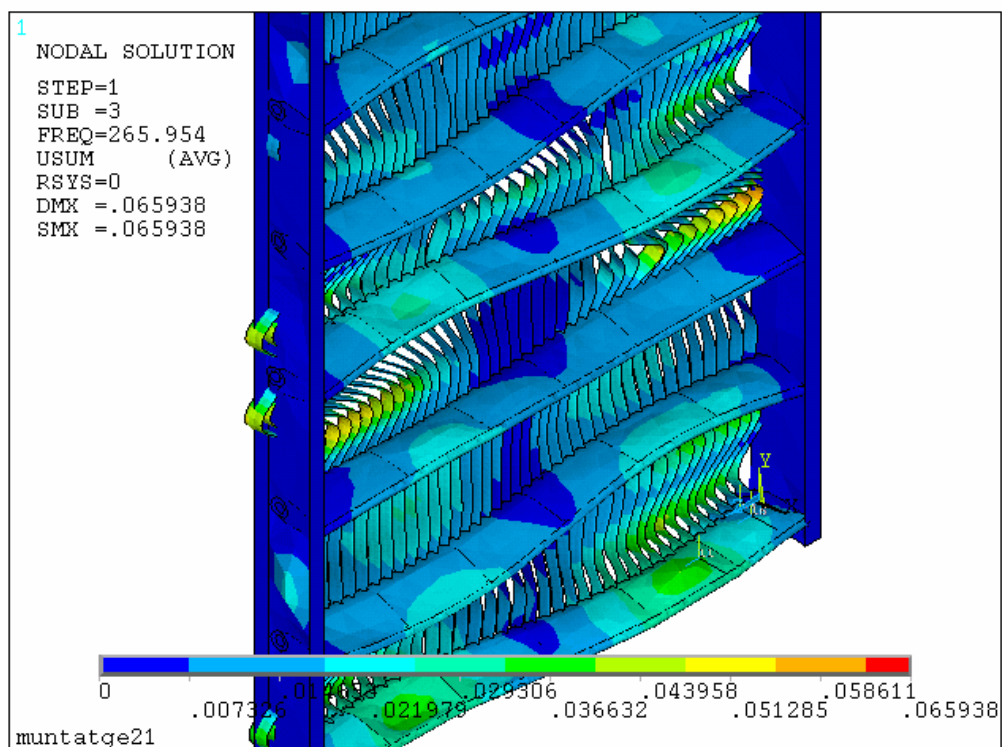


Figura E.49 Mode de vibració a 265.95 Hz.



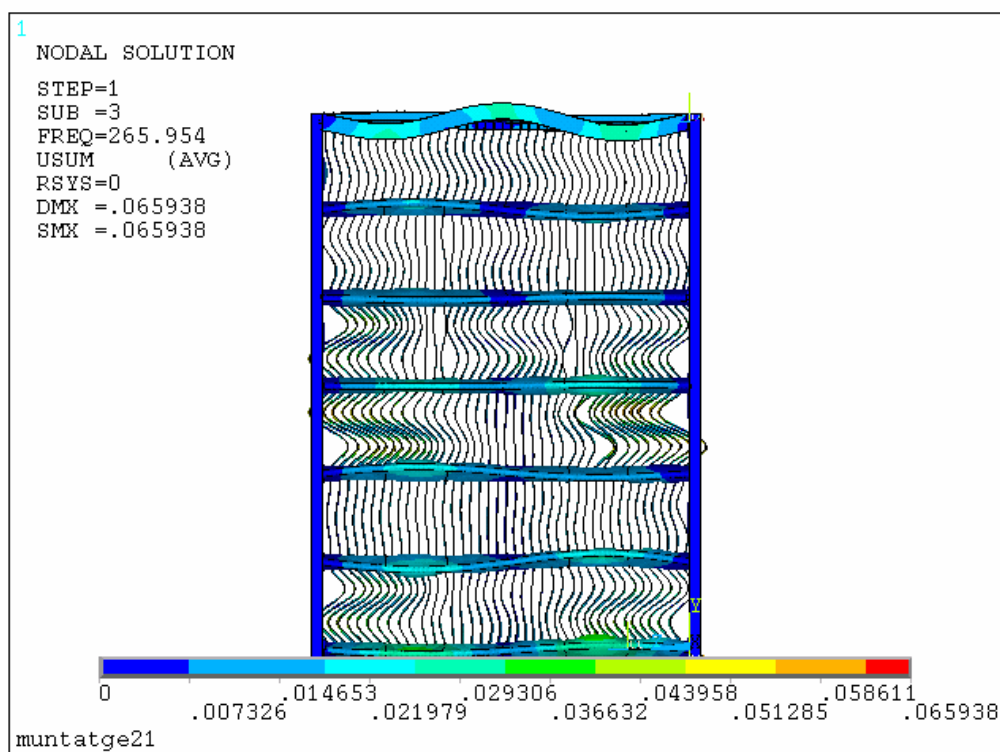


Figura E.50 Mode de vibració a 265.95 Hz.

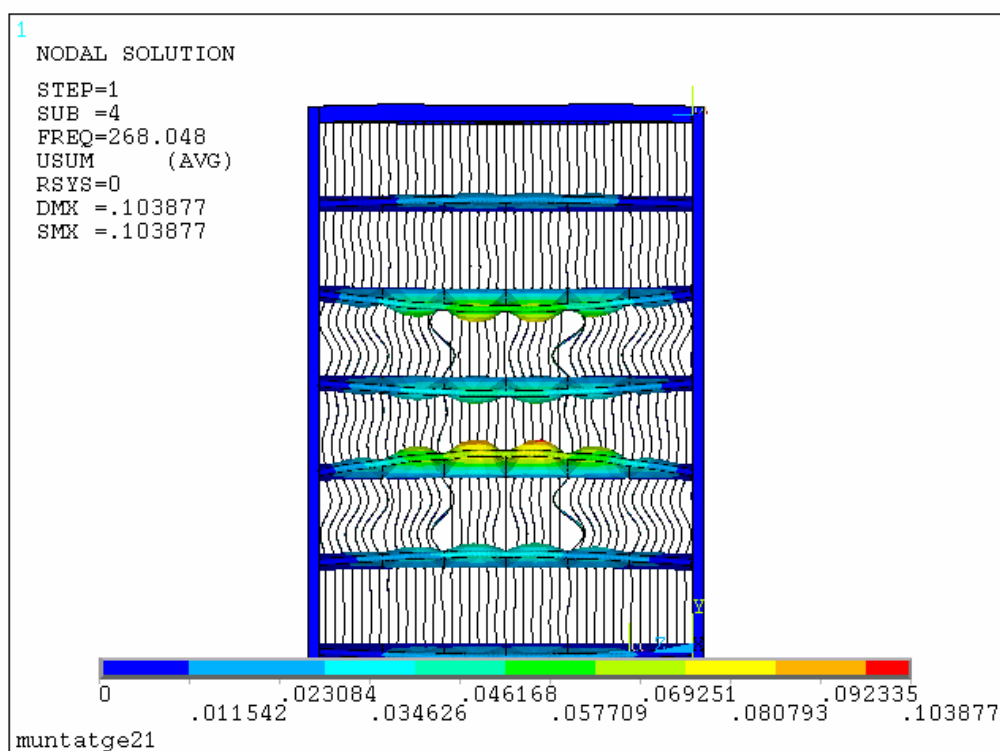


Figura E.51 Mode de vibració a 265.05 Hz.



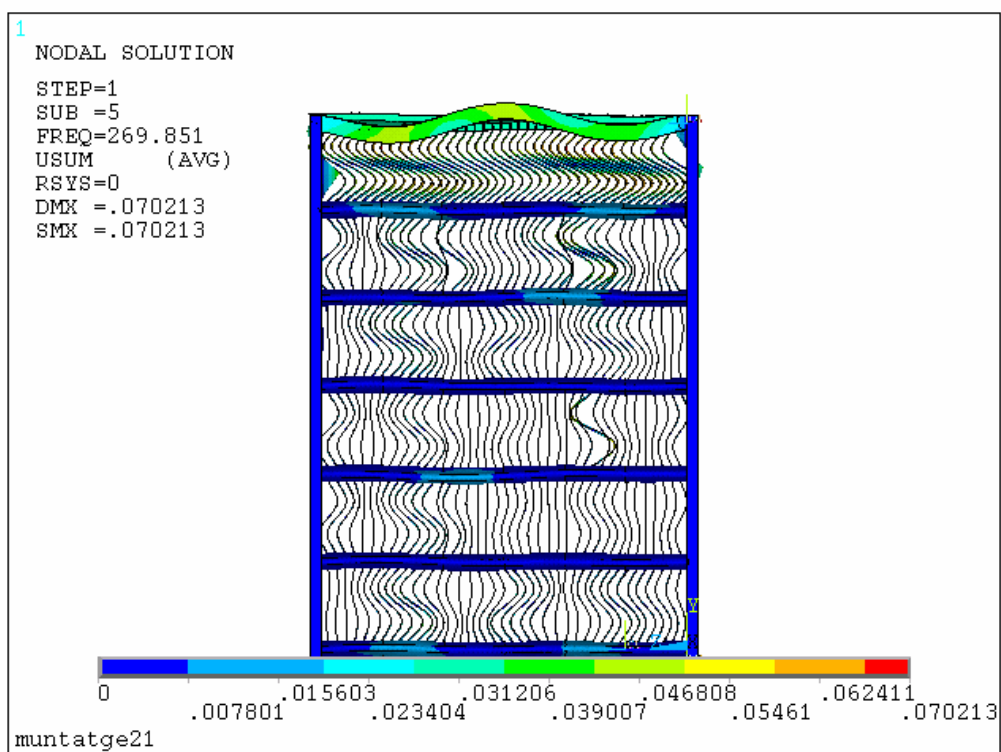


Figura E.52 Mode de vibració a 269.85 Hz.

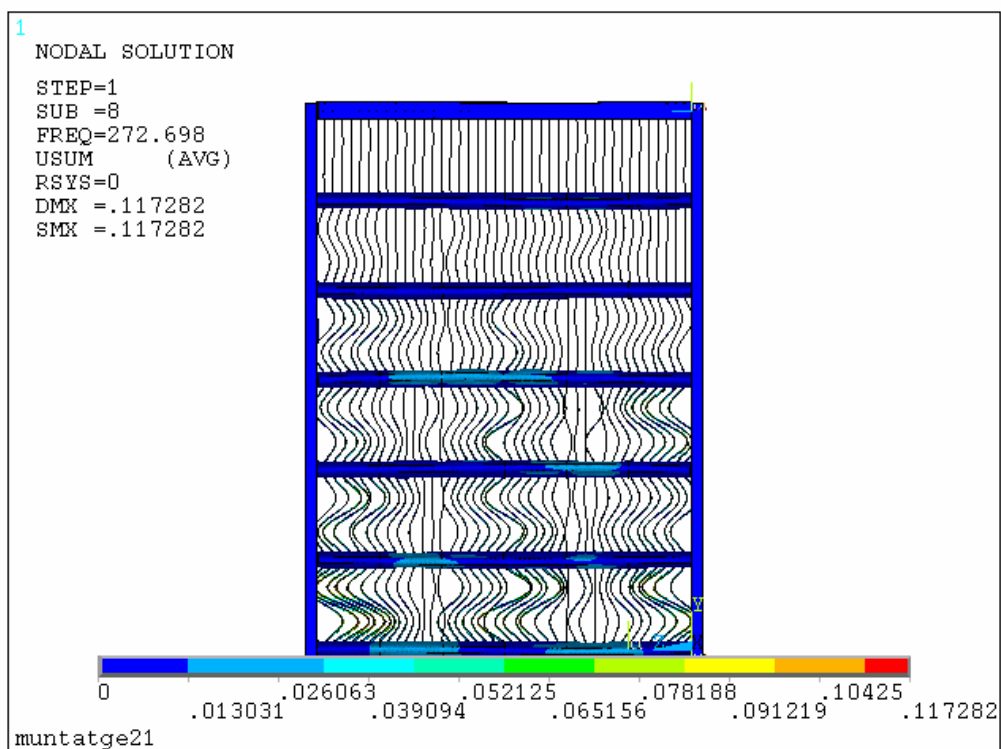


Figura E.53 Mode de vibració a 272.70 Hz.



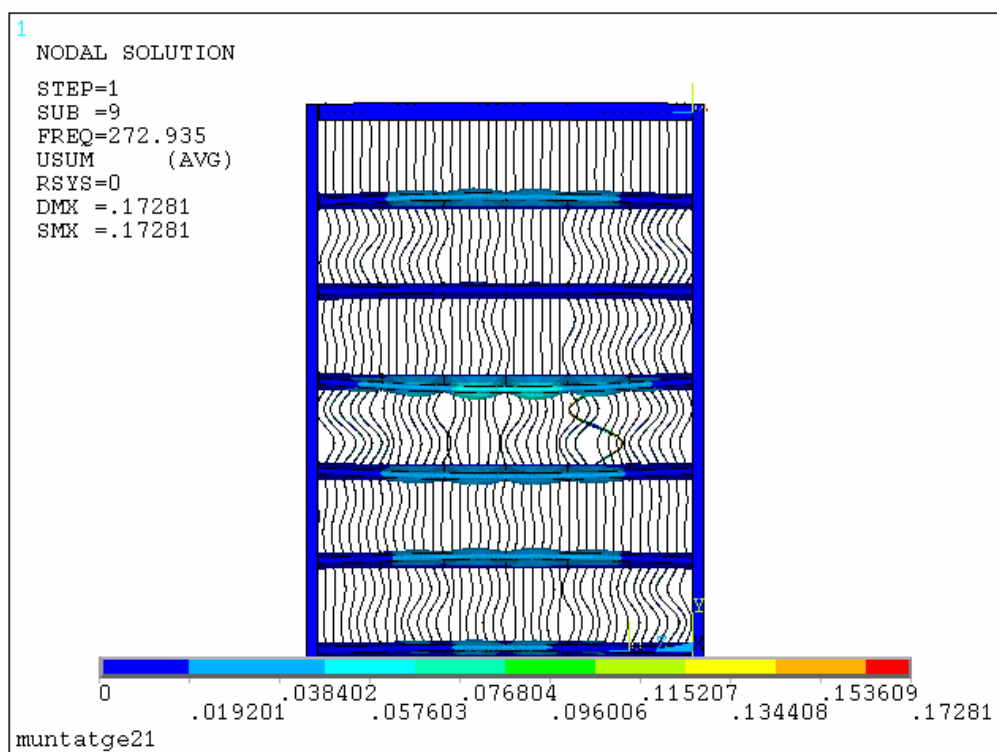


Figura E.54 Mode de vibració a 272.93 Hz.

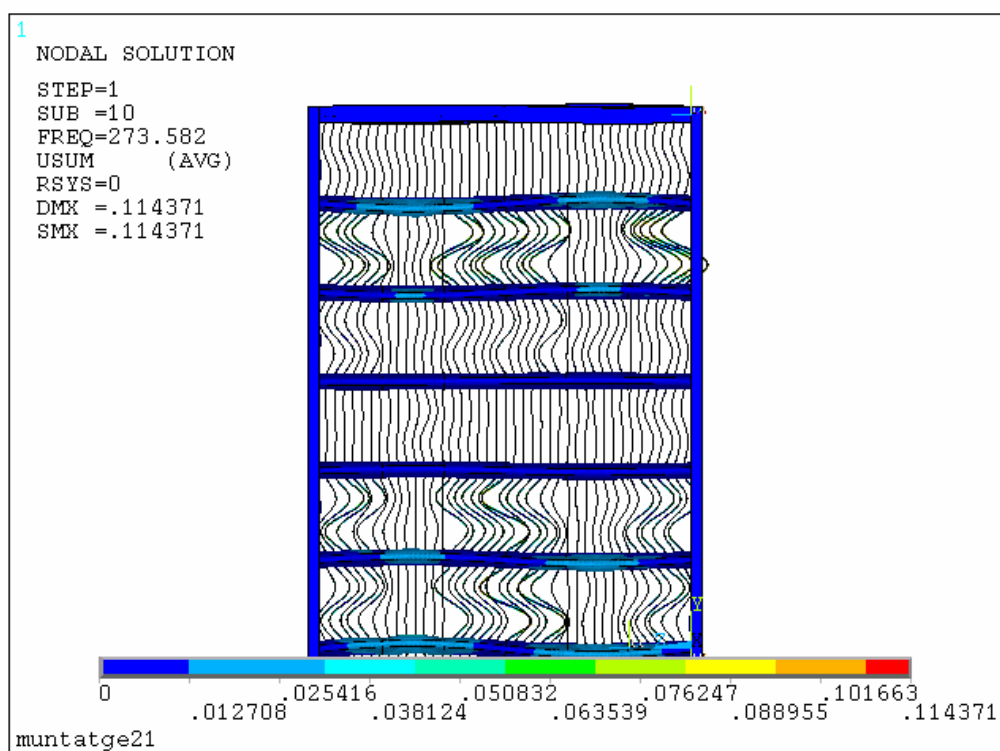


Figura E.55 Mode de vibració a 273.58 Hz.



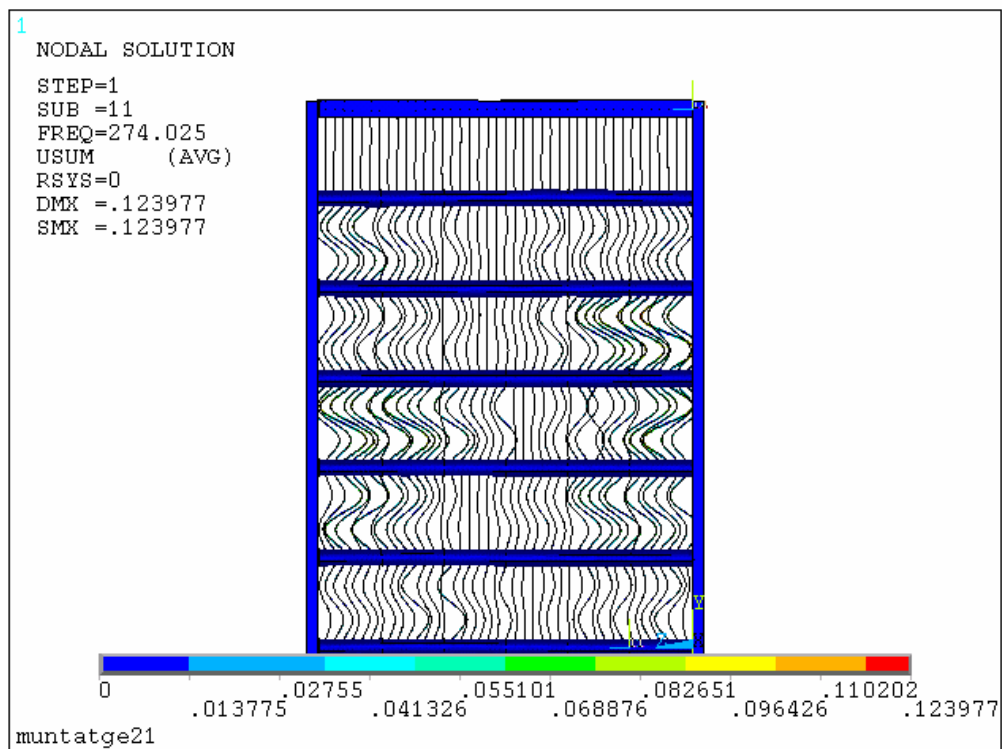


Figura E.56 Mode de vibració a 274.03 Hz.

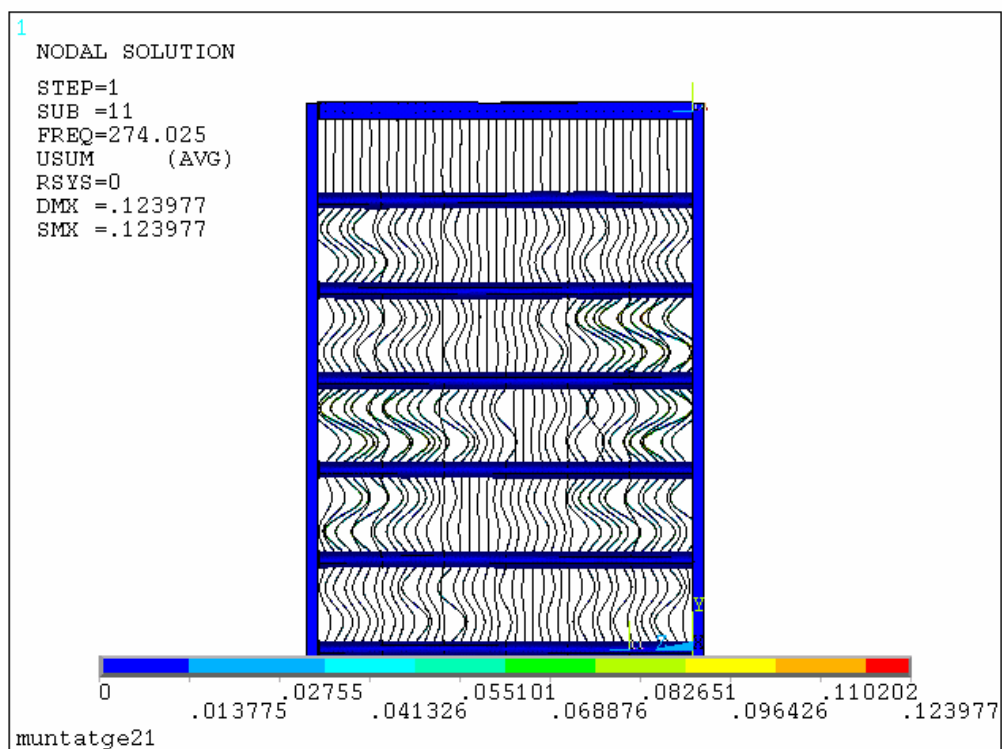


Figura E.57 Mode de vibració a 274.03 Hz.



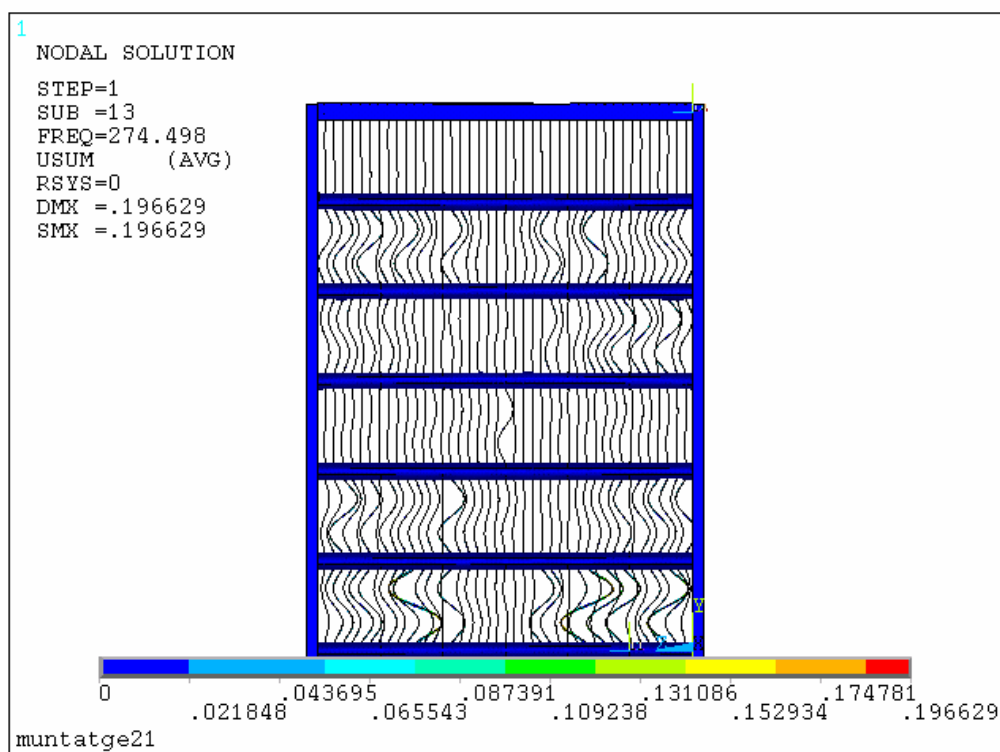


Figura E.58 Mode de vibració a 274.50 Hz.

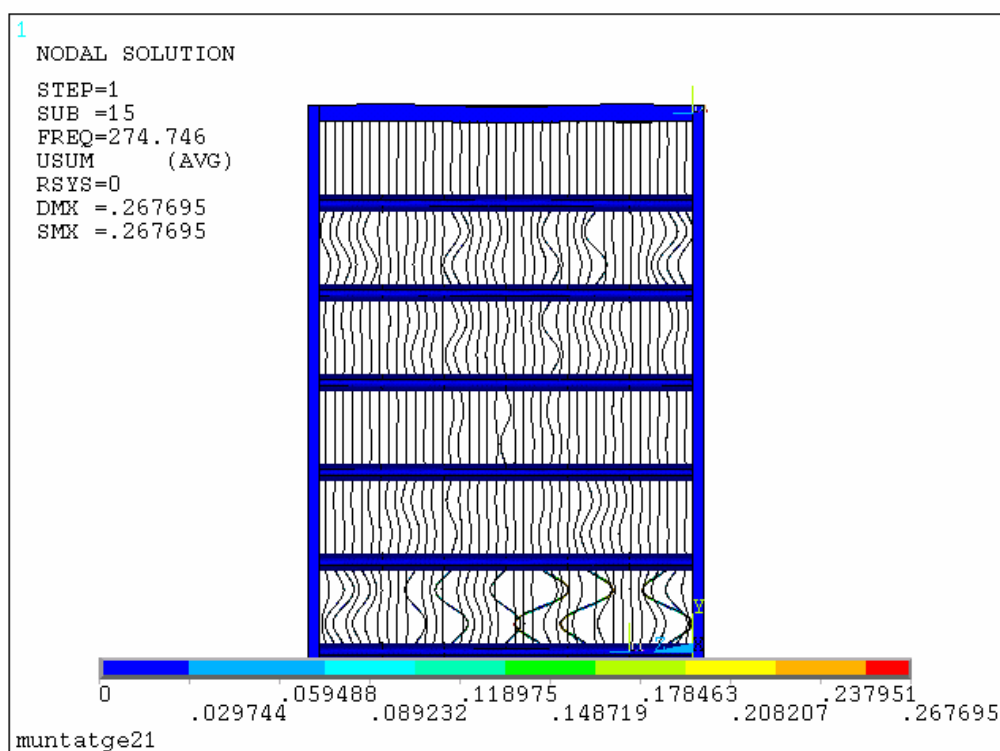


Figura E.59 Mode de vibració a 274.75 Hz.



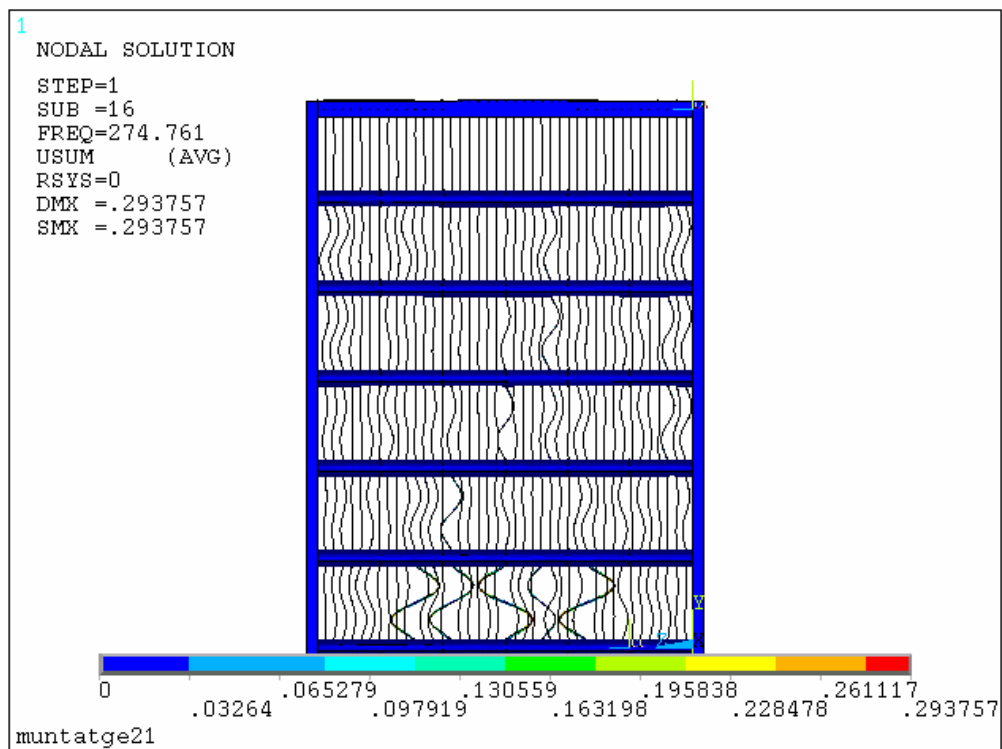


Figura E.60 Mode de vibració a 274.76 Hz.

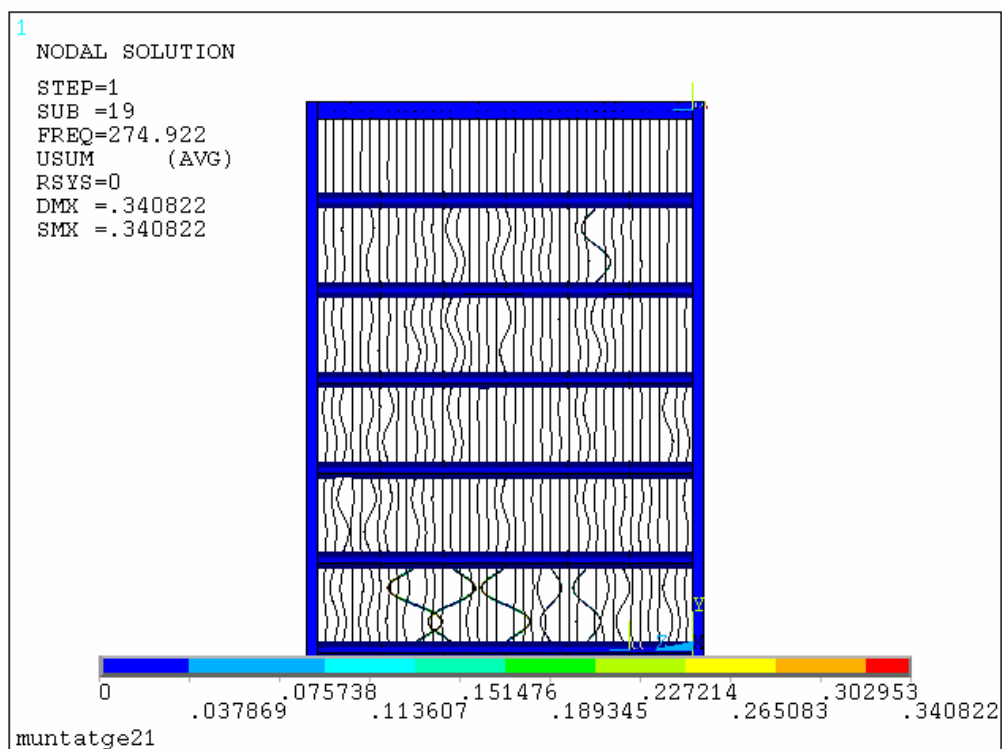


Figura E.61 Mode de vibració a 274.92 Hz.



F. Avaluació econòmica.

L'avaluació que es presenta en aquest annex és un estudi d'inversió associat a la realització d'estudis tècnics similars al que s'han dut a terme en aquest projecte per part d'una empresa dedicada a fer projectes tècnics. L'estudi d'inversió ha de respondre la qüestió si és viable econòmicament la inversió inicial que, d'entre altres factors, contempla la compra de l'estació de treball i sobretot les llicències d'ANSYS.

F.1. Horitzó temporal i valors residuals.

Aquesta inversió té un horitzó temporal de 5 anys, a finals dels qual el valor residual dels bens materials comprats en l'any 0, serà nul ja que s'ha considerat que al cap de 5 anys l'estació de treball (WS) i els ordinadors quedaran desfasats respecte el contingut en el mercat.

F.2. Fons invertits.

Els fons invertits consten de totes aquelles despeses fixes associades a béns materials com són el material informàtics i a les despeses associades als sous i als serveis del primer anys.

F.2.1. Despeses de personal.

S'ha considerat que hi hauran 2 enginyers industrials/químics treballant amb aquests estudis i un tècnic informàtic que garanteixi el manteniment de l'estació de treball (bàsic per la realització dels projectes).

CONCEPTE	Quantitat	Sou anual(€/persona)	Despesa personal (€)
Sou enginyer	2	30000	60000
Sou tècnic informàtic	1	20000	20000
Total despeses personal (€)			80000

Taula F.1 Despeses de personal

F.2.2. Despeses de serveis.

Pel que fa a les despeses de servei s'han de considerar aquelles despeses associades als serveis de suport als materials informàtics. S'han representat com el telèfon , ADSL i



els viatges necessaris per dur a terme les reunions on contrastar amb resultats experimentals per validar els estudis.

CONCEPTE	Quantitat	Cost anual(€)	Despesa servei (€)
Viatges	1	3000	3000
ADSL	1	480	480
Telèfon	1	240	240
Total despeses serveis (€)			3720

Taula F.2 Despeses de serveis

F.2.3. Despeses equips informàtics.

Aquest és el concepte de despeses més fort que s'ha de fer. S'ha de comprar l'estació de treball, un ordinador de taula per processar les dades i un portàtil per mostrar els resultats en totes les reunions associades aquestes projectes. Per altra banda no es pot oblidar la compra de les llicències dels programes.

CONCEPTE	Quantitat	Cost anual(€)	Despesa equips inf. (€)
Llicència ANSYS Worbench	1	30000	30000
Llicència ANSYS Multiphysic	1	30000	30000
WS	1	6000	6000
Ordinador sobretaula	1	1000	1000
Portàtil	1	1200	1200
Llicència Windows XP Pro	1	360	360
Llicència Microsoft OFFICE Pro	1	720	720
Total despeses equips inf. (€)			69280

Taula F.3 Despeses d'equips informàtics



F.2.4. Inversió total.

Així doncs si es tenen en compte tots aquests conceptes de despeses la inversió inicial té un valor de:

CONCEPTE	Cost anual(€)
Despeses de personal	80000
Despeses de serveis	3720
Despeses d'equips inf.	69280
Total inversió (€)	153000

Taula F.4 Inversió total

F.3. Fons generats.

Pel que fa als fons generats s'han considerat com a ingressos el preu de cada projecte i com a costos els associats a llicències, personal i serveis.

Cal dir que s'ha considerat un increment anual del IPC d'un 3% tant per al preu de cada projecte (3000 € valor inicial), com per al cost associat a les despeses ja anomenades.

F.3.1. Ingressos

En concepte d'ingressos s'ha considerat que cada enginyer realitza un mínim anual de 35 estudis d'aquest tipus a un preu de 3000 €.

Projectes cada enginyer	Total projectes mínim	Preu (€/projecte)	Ingressos (€)
35	70	3000	210000

Taula F.5 Tota ingressos

F.3.2. Despeses

En concepte de despeses s'ha considerat les despeses de servei, de personal i l'amortització de la inversió en un horitzó temporal de 5 anys (el total de la inversió dividit entre aquests 5 anys). Les dues primeres despeses es veuen influenciades pel IPC, però l'amortització de la inversió és constant cada any independentment del IPC.



CONCEPTE	Cost anual(€)
Despeses de personal	80000
Despeses de serveis	3720
Despeses amortització inversió (constant)	30600
Total despeses (€)	114320

Taula F.6 Total despeses

F.3.3. BAI-BAII.

Cal dir que per simplificar càlculs no s'han tingut en compte costos financers i extraordinaris, de manera que el BAI (Benefici abans d'impostos), coincideix amb el BAII (Benefici financer abans d'impostos).

F.3.4. BDI i total fons generat.

El benefici després d'impostos (BDI) resulta d'aplicar al BAI l'impost de societat del 35%. Per altra banda, el total d'aquest fons generat els aquest BDI però amb l'amortització de la inversió.

F.3.5. Flux de caixa.

També per simplificar conceptes, s'ha considerat que no hi ha fons destinats a noves inversions o al pagament de dividends; ni tampoc a augmentar el saldo de proveïdors o clients. Per aquest motiu el flux de caixa (FC) és el mateix que el flux de caixa lliure (FCF).

F.4. VAN/PB/TIR.

El valor actual net (VAN) s'ha considerat amb una taxa de retorn (k) o cost del capital d'un 12%, l'horitzó temporal és de 5 anys i en aquesta expressió el flux de caixa es representa com a Q.

$$VAN = \sum_0^5 \frac{Q_t}{(1+k)^t} \quad (\text{Eq. F.1})$$

Aplicant aquesta expressió s'obté un VAN de l'ordre de 180000€, valor superior a la inversió.



Per calcular la taxa interna de rendibilitat (TIR) s'ha seguit l'expressió de la seva definició: és aquella taxa que fa que en un horitzó temporal determinat el VAN s'anul·li.

$$VAN = \sum_0^5 \frac{Q_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (\text{Eq. F.2})$$

Aplicant aquesta expressió obtenim un TIR de 56% molt superior a la taxa de retorn del 12%.

Finalment el període de retorn, entès com el període de temps necessari per obtenir un flux de caixa positiu, és de 2 anys.

Així doncs, amb un VAN superior a la inversió i un TIR superior a la taxa de retorn, la inversió és rendible. I tenint en compte un PB de 2 anys, a més de rendible, no presenta una situació de risc a considerar.



ESTUDI DE INVERSIÓ

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
FONS INVERTITS						
Despeses de personal						
Enginyer industrial/químic en plantilla	60000					
Tècnic informàtic en plantilla	20000					
Despeses de serveis						
Viatges	3000					
Internet ADSL/Cable	480					
Telèfon	240					
Despeses equips informàtics						
Llicència ANSYS Worbench	30000					0
Llicència ANSYS Multiphysic	30000					0
WS	6000					0
Ordinador sobretaula	1000					0
Portàtil	1200					0
Llicència Windows XP Pro	360					0
Llicència Microsoft OFFICE Pro	720					0
Total Fons invertits	153000					0
FONS GENERATS						
(+) Ingressis per estudis		210000	216300	222789	229473	236357
(-) Amortització inversió						
(Horitzó temporal 5 anys)		-30600	-30600	-30600	-30600	-30600
(-) Despeses de personal i serveis		-83720	-86232	-88819	-91483	-94228
BAII=BAI		95680	99468	103370	107390	111529
(-) Impost societats (35%)		-33488	-34814	-36180	-37586	-39035
Bdl		62192	64654	67191	69803	72494
(+) Amortització inversió						
(Horitzó temporal 5 anys)		30600	30600	30600	30600	30600
Total Fons Generats		92792	95254	97791	100403	103094
Flux de caixa	-153000	92792	95254	97791	100403	103094
Flux de caixa acumulat	-153000	-60208	35046	132837	233240	336334

Estudi inversió

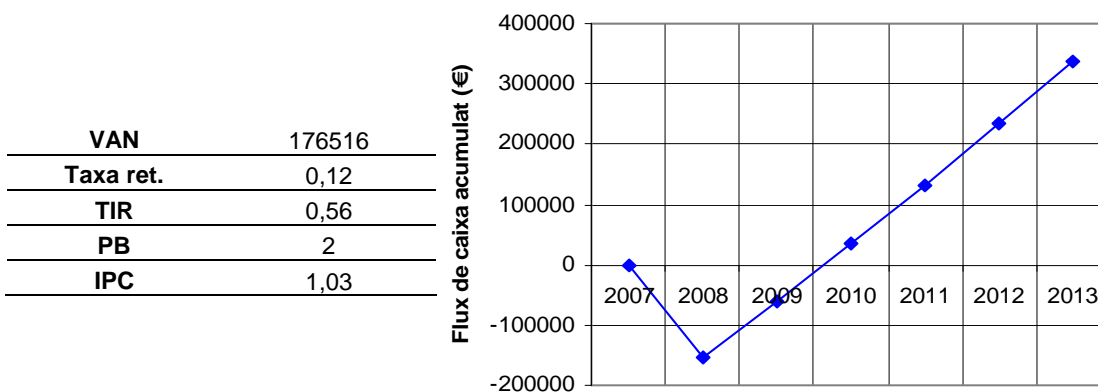


Figura F.1 Estudi de inversió



G. Impacte Ambiental.

Si s'analitza l'impacte associat a aquest projecte es pot arribar a la conclusió que és més important l'impacte ambiental que es pot evitar amb l'implementació dels resultats d'aquests projectes de simulació, que el propi impacte que genera un projecte basat en un estudi tècnic.

De totes maneres cal identificar els principals vectors que generen un impacte ambiental lleu. Es poden agrupar en consum de material i consum de recursos.

L'impacte associat al consum de material és mínim i és provocat principalment pel paper que es pugui consumir.

L'impacte associat al consum de recursos és més important que l'anterior, però tampoc és en vector potencial. Els recursos que es consumeixen són l'electricitat pel funcionament dels ordinadors i aires condicionats, necessaris per mantenir els ordinadors a una temperatura adequada durant els mesos d'estiu. L'ús d'aquests aparells té un altre impacte ambiental, ja que aquests aparells contribueixen, entre d'altres factors, a l'escalfament del planeta.

Per altra banda, l'impacte ambiental que es pot evitar amb aquests estudis és més important. Amb el càlcul d'estructures amb dimensions considerables com és el cas de la reixa, es pot evitar el trencament prematur d'aquestes i per tant evitar també el consum de material innecessari. Si seguim estirant la cadena, si s'evita el consum de peces d'acer de dimensions tant grans, s'evita la seva mecanització, i per tant s'evita els residus propis d'aquest procés d'elaboració.

En general, els estudis tècnics de estructures són un pas endavant per aquells projectes on una estructura determinada està sotmesa a una situació crítica i per tant sensible a ser danyada.

